

ALUMBRADO PÚBLICO AUTO SOSTENIBLE

DARIO ENRIQUE MENDOZA PEÑARANDA  
JAIME ANDRES ARANGO ORTIZ  
JEFFERSON DIAZ VASQUEZ

UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2012

ALUMBRADO PÚBLICO AUTOSOSTENIBLE

DARIO ENRIQUE MENDOZA PEÑARANDA  
JAIME ANDRES ARANGO ORTIZ  
JEFFERSON DIAZ VASQUEZ

PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRICISTA

ADALBERTO OSPINO INGENIERO ELECTRÓNICO  
JORGE SILVA INGENIERO ELECTRICISTA

UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2012.

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

**PRESIDENTE DEL JURADO**

---

**JURADO**

---

**JURADO**

Barranquilla (21 Agosto de 2012)

## **DEDICATORIA**

Por la realización de este proyecto quiero agradecer principalmente a Dios que me diera la fortaleza para seguir adelante. También agradecerle a cada uno de los docentes e ingenieros que nos aportaron sus conocimientos para crecer como profesionales, a mi familia que siempre me apoyaron pero en especial a mi madre Sara Ortiz que me inculcó sus buenos valores y siempre me hizo énfasis que lo más importante es la educación.

JAIME ARANGO ORTIZ

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios que es quien nos ayuda en nuestro día a día, dedicado a mis padres que con sus esfuerzos y sacrificios pudieron darme el apoyo tanto económico como moral y fortaleza para no desfallecer en el intento de alcanzar mis sueños, metas en busca del éxito y superación personal. Además este logro va dedicado a todos mis amigos y compañeros de estudios que de alguna u otra manera contribuyeron con sus apoyos para poder llegar y lograr el final de este proceso de educación profesional.

DARÍO MENDOZA

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi familia por el apoyo incondicional brindado desde el inicio de esta etapa en mi vida, por ser esa fuerza de empuje y aliento en los días duros y difíciles, por estar siempre, siempre a mi lado aun en la distancia.

JEFFERSON DÍAZ VÁSQUEZ

## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente a Dios por permitirnos la realización de este proyecto y darnos la oportunidad de llegar hasta este punto de nuestras vidas. A cada uno de los profesores, ingenieros y docentes por mostrarnos y compartir lo maravilloso del conocimiento con cada uno de nosotros. A todos nuestros amigos y compañeros por enseñarnos a compartir y vivir cada momento con respeto y felicidad.

JAIME ARANGO ORTIZ  
JEFFERSON DÍAZ VÁSQUEZ  
DARÍO MENDOZA PEÑARANDA

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	18
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	19
2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	19
2.3 PREGUNTA PROBLEMA .....	19
3. JUSTIFICACIÓN .....	20
4. OBJETIVOS .....	21
4.1 OBJETIVO GENERAL .....	21
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
5. MARCO TEÓRICO .....	22
5.1 REFERENCIAS HISTÓRICAS Y SITUACIÓN ACTUAL .....	22
5.2 AVANCES RECIENTES EN EL MARCO POLÍTICO, NORMATIVO E INSTITUCIONAL EN COLOMBIA .....	24
6.1 LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	28
6.2 LA ENERGÍA SOLAR .....	29
6.3 LA RADIACIÓN EXTRATERRESTRE .....	32
7. CONDUCTORES, AISLANTES Y SEMICONDUCTORES .....	35
8.1 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	40
8.2 CÉLULAS DE SILICIO CRISTALINO .....	42
8.2.1 Silicio monocristalino .....	42
8.2.2 Silicio poli-cristalino .....	44
8.2.3 Células de lámina delgada .....	45
8.2.4 Silicio amorfo .....	46
8.2.5 Arseniuro de galio .....	46
8.2.6 Células de telurio de cadmio/sulfuro de cadmio (cts) .....	47



8.3 ESTRUCTURA DE CELDAS.....	47
9.1 EL PANEL FOTOVOLTAICO .....	49
9.2.2 Conexión en paralelo .....	52
9.2.3 Conexión mixta .....	53
9.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES .....	55
9.4.2 Curva V-I en función de la irradiación .....	56
9.4.3 Curva V-I en función de la temperatura .....	57
10.1 BATERÍAS PLOMO-ACIDO .....	59
10.2 BATERÍAS DE PLOMO ACIDO CON VÁLVULA REGULADA.....	60
10.3 BATERÍAS TIPO GEL .....	60
10.4 CELDAS.....	61
10.5.1 TIPOS DE BATERÍAS .....	62
10.6 CAPACIDAD DE LA BATERÍA.....	63
10.6.1 Capacidad De Una Batería En Amperios-Hora (Ah) .....	63
10.7 ESTADO DE CARGA Y PROFUNDIDAD DE DESCARGA .....	65
10.7.1 Ciclos De Vida .....	65
10.9 EL VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO .....	69
10.10 CICLO DE VIDA DE UNA BATERÍA .....	70
10.11 EFICIENCIA DE LA BATERÍA.....	70
10.11.1 La eficiencia en amperios hora .....	70
10.11.2 La eficiencia en watt-hora. ....	70
10.12 CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO DE BATERÍAS.....	70
10.12.1 Conexión en serie .....	71
10.12.2 Conexión en paralelo.....	71

10.12.3 Conexión Serie-Paralelo De Baterías. ....	72
10.13 CARACTERÍSTICAS DE RECARGA Y DESCARGA.....	73
10.13.1 Igualación .....	74
10.13.2 Cargador de batería.....	74
11. REGULADORES DE CARGA.....	75
11.1 CONCEPTOS GENERALES.....	75
11.2 REGULADOR SHUNT O PARALELO.....	76
11.3 REGULADOR SERIE .....	76
12. EL DIODO EMISOR DE LUZ (LED).....	78
12.1 FUNCIONAMIENTO DEL LED .....	78
12.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS LED'S.....	78
12.2.1 Característica luz-corriente .....	79
12.2.2 Características ópticas y eléctricas.....	80
13. CIRCUITO DE REGULACIÓN Y CONTROL .....	81
13.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?.....	81
13.1.1EI PIC 16F819 .....	81
13.2 CIRCUITO REGULADOR .....	82
13.2.1 Regulador de 10 amperios.....	83
13.3 MANEJO DE RELÉS.....	84
13.4 MEDICIÓN DEL VOLTAJE DE LA BATERÍA Y FOTOCELDA.....	86
13.4.1 Voltaje de batería o acumulador .....	86
13.4.2 Voltaje de la fotocelda.....	87
13.5 FUNCIONAMIENTO TARJETA CONTROLADORA.....	87
13.6 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DESARROLLADO PARA CONTROL .....	90

14. DISEÑO DEL SFAP .....	95
14.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA BATERÍA .....	97
14.2 DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES .....	98
14.3 CÁLCULO DEL REGULADOR DE CARGA .....	99
14.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CABLEADO .....	99
15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	103
BIBLIOGRAFÍA .....	104

## LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Consumo energético estimado.....	95
Tabla 2. Porcentajes de regulación de voltaje máximos y recomendados según el tramo entre dispositivos.....	¡Error! Marcador no definido.100
Tabla 3. Comparación entre calibres AWG (American Wire Gauge) y los milímetros cuadrados (mm <sup>2</sup> ) del sistema métrico. ....	101

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama en bloque del sistema solar fotovoltaico.....	28
Figura 2. Variación del tiempo y altura del sol referente a la estación .....	31
Figura 3. posición del sol durante un periodo de año .....	31
Figura 4. Distintos componentes de la radiación solar.....	32
Figura 5. Radiación e insolación (tomando 6 HSP ene este ejemplo) en un día despejado. ....	34
Figura 6. Formas cristalinas distintas del carbón. ....	36
Figura 7. Átomo de silicio y átomo de germanio .....	37
Figura 8. Cristal de silicio .....	37
Figura 9. Enlace entre átomos. ....	38
Figura 10. Estado de equilibrio para una unión n-p .....	39
Figura 11. Estructuras del silicio mono cristalino .....	41
Figura 12. Estructura del silicio poli-cristalino .....	41
Figura 13. Estructura del silicio amorfo.....	42
Figura 14. Silicio amorfo hidrogenado .....	42
Figura 15. Cristalización por el método <i>czochralski</i> .....	43
Figura 16. Configuración de celdas en Paneles FV .....	45
Figura 17. Componentes de un panel fotovoltaico.....	52
Figura 18. Conexión en serie de paneles fotovoltaicos.....	54
Figura 19. Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo.....	55
Figura 20. Curva V-I.....	58
Figura 21. Curva V-I en función de irradiación.....	59
Figura 22. Curva V-I en función de la temperatura. ....	60
Figura 23. Componentes comunes de las baterías.....	61
Figura 24. Construcción de una batería típica .....	61
Figura 25. Circuito de carga de una batería.....	62
Figura 26. Variaciones de voltaje en una batería PB- Ácido.....	64
Figura 27. Estado de carga y profundidad de descarga .....	65
Figura 28. Profundidad de descarga promedio diario .....	66

Figura 29. Variación de la capacidad del régimen de descarga con temperatura constante .....	68
Figura 30. Gravedad específica contra estado de carga.....	69
Figura 31. Voltaje por celda Vs %EDC .....	68
Figura 32. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de la batería.....	68
Figura 33. Ciclo típico de una batería en sistemas fotovoltaicos independientes .	69
Figura 34. Conectando las baterías en serie se aumenta el voltaje.....	71
Figura 35. Conexión en serie de baterías .....	71
Figura 36. Conectando las baterías en paralelo se incrementa la corriente del sistema .....	72
Figura 37. Conexión en paralelo de baterías .....	72
Figura 38. Configuración de banco de baterías .....	73
Figura 39. Banco de baterías 12V configuración serie-paralelo .....	73
Figura 40. Potencia de salida del LED .....	79
Figura 41. Esquema de pines de IC.....	81
Figura 42. Circuito interno de un LM338.....	82
Figura 43. Circuito Básico.....	83
Figura 44. Circuito Regulador de 10A .....	84
Figura 45. Driver para un relé de 5V .....	85
Figura 46. Divisor de voltaje aplicado a la batería .....	86
Figura 47. Circuito funcionamiento de la fotocelda .....	87
Figura 48. Diagrama de tarjeta controladora .....	88
Figura 49. Leds indicadores.....	90
Figura 50. Esquema de circuito diseñado .....	94

## **RESUMEN**

La universidad de la costa (anteriormente, Corporación Universitaria de la Costa CUC) en el proceso de reunir los requisitos para que se le otorgaran la condición de universidad, ésta amplió su campus universitario. Estas nuevas instalaciones han sido adecuadas para ser utilizadas como aulas de clases para suplir la demanda estudiantil, parqueaderos y zonas de tránsito tanto peatonal como vehicular.

Dentro de este nuevo proceso de adecuación en las nuevas instalaciones adquiridas por la universidad, se evidencia que en algunas zonas hay bajos niveles de iluminación o esta es nula. Todos los proyectos de iluminación y alumbrado público deben incorporar y aplicar conceptos de uso racional y eficiente de energía, para conseguir una iluminación eficiente sin desatender las demandas visuales<sup>2</sup>.

En el presente proyecto se presenta el diseño de un prototipo de iluminación pública con luminaria tipo led, alimentado a través de un sistema de generación con paneles fotovoltaicos, de igual forma se diseña y construye una tarjeta de control y regulación para todo el sistema utilizando lenguaje de programación en Basic aplicado a un microcontrolador. Esto aprovechando los recursos ofrecidos por la universidad de la costa como lo son el panel fotovoltaico y la batería, además del laboratorio de fuentes renovables de energía para la instalación del sistema de generación fotovoltaica. Otro efecto que se busca abarcar con este proyecto es mostrar una alternativa diferente para el ahorro energético en el sector de iluminación, para la universidad de la costa.

## **PALABRAS CLAVES**

Sistema fotovoltaico, uso racional de la energía (URE), diodo emisor de luz (led), microcontrolador.

---

<sup>2</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0540. (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, Anexo General. Bogotá, D.C., 2010. 227p.

## **ABSTRACT**

University of the coast (previously, CorporaciónUniversitaria of coast CUC) in the process of gathering requirements that will give it the status of University, this comprehensive university campus. These new facilities have been adequate to be used as classrooms to include student demand, parking lots and areas of traffic both pedestrian and vehicular.

In this new process of adequacy in the new facilities acquired by the University, is evident in some areas there are low levels of lighting or is null. All lighting and street lighting projects must incorporate and apply concepts of rational and efficient use of energy, to achieve an efficient lighting without neglecting the Visual demands.

This project is the design of a prototype of lighting publishes luminaire type led, powered through a system of generation with photovoltaic panels, in the same way is designs and builds a card of control and regulation for all system using programming language in Basic applied to a microcontroller. This is taking advantage of the resources offered by the University of the coast such as the photovoltaic panel and battery, to others in the laboratory of renewable sources of energy for the installation of photovoltaic generation system. Another effect you are looking for cover with this project is to show a different alternative for energy savings in lighting for the University of the Coast.

## **KEY WORDS**

Photovoltaic system, rational use of energy, light-emitting diode, microcontroller.



## INTRODUCCIÓN

En estos últimos años la universidad de la costa (anteriormente, Corporación universitaria de la Costa, CUC), ha entrado en un proceso de ampliación en su campus. Desde entonces la universidad de la costa a estado adecuando las nuevas instalaciones, para ofrecer un buen servicio a toda la comunidad estudiantil y funcionarios.

Una de las actividades referentes a la adecuación de estas nuevas zonas, tiene que ver con la iluminación de áreas comunes dentro del campus. Para esto la universidad de la costa, a utilizadas luminarias de sodio de 50W y reflectores metal halide, sin embargo se encuentran algunas zonas con escasa iluminación.

Partiendo de la necesidad de buscar alternativas para la iluminación dentro de la universidad de la costa y que esta cuenta con el programa de fuentes renovables de energía, se presenta una alternativa para satisfacer esta necesidad. Esto a través del diseño y montaje de un sistema autónomo de generación a través de paneles fotovoltaicos para la iluminación con tecnología led, con un sistema de control y regulación para ser instalado en la universidad de la costa.

En este documento se presenta el planteamiento del problema encontrado en la universidad de la costa a causa de zonas con bajos niveles de iluminación, la justificación de la posibilidad de poder usar sistemas fotovoltaicos con luminarias tipo exterior con tecnología led para satisfacer la demanda energética que se requiere para ello, el diseño de una tarjeta que controle las variables eléctricas de toda la instalación, el encendido y apagado de la luminaria utilizando lenguaje de programación en PICBASIC.

En el marco teórico se reúnen los aspectos relacionados con la normativa en el país para el impulso de los sistemas de generación de energía a través de fuentes renovables o no convencionales, los componentes que integran un sistema fotovoltaico y su funcionamiento, el diseño de la tarjeta del circuito de control y regulación del sistema, de igual manera se presenta el lenguaje de programación desarrollado en BASIC. También se presenta las etapas de diseño para el sistema de generación fotovoltaica y por ultimo lo relacionado con el montaje de toda la instalación.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

Actualmente la universidad de la costa se encuentra en un proceso de expansión en su área perimetral, es decir, adquisición de nuevos terrenos adyacentes a las instalaciones originales para aumentar la oferta de aulas como consecuencia del incremento de la comunidad estudiantil. Debido a que esto es relativamente reciente y aún se encuentra en proceso de “remodelación” de estas nuevas zonas, es notable la ausencia de iluminación en ciertas áreas.

La instalación de luminarias de sodio y metal halide, son la primera alternativa para la iluminación de áreas comunes, pero dichas luminarias generan un considerable consumo energético dentro de cualquiera instalación. La universidad de la costa ha empleado estos sistemas de iluminación en las de tránsito de alumnos, funcionarios, parqueaderos, vías de acceso y salida de vehículos en los nuevos terrenos adquiridos.

### **2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Dentro de los terrenos adquiridos por la universidad de la costa, se encuentran algunas áreas con deficiencia de iluminación, por tal razón surge la necesidad de garantizar los niveles de iluminación adecuados en las zonas que actualmente lo requieren, para garantizar una visualización adecuada del entorno dentro de la universidad de la costa.

### **2.3 PREGUNTA PROBLEMA**

¿La necesidad de iluminación en zonas oscuras en la universidad de la costa, puede ser resuelta implementando sistemas fotovoltaicos con iluminación tipo led?

### 3. JUSTIFICACIÓN

La importancia de desarrollar este tipo de proyectos se justifica en la necesidad de encontrar nuevas alternativas para la iluminación y la disminución del consumo energético dentro de la universidad de la costa a través de nuevos sistemas, como lo es la integración de la generación fotovoltaica y la iluminación tipo led.

Es necesario mantener los niveles de iluminación adecuados en todas las áreas comunes de la universidad de la costa, para garantizar el acceso a todas las zonas de la institución sin que se generen problemas de movilidad.

La iluminación de un sistema de alumbrado público debe ser adecuada para el desarrollo normal de las actividades tanto vehiculares como peatonales. Para lo cual se debe tener en cuenta la confiabilidad de la percepción y la comodidad visual, aplicando la cantidad y calidad de la luz sobre el área observada y de acuerdo con el trabajo visual requerido. Así, para cumplir esos requerimientos de luz se debe hacer una cuidadosa selección de la fuente y la luminaria apropiada teniendo en cuenta su desempeño fotométrico, de tal forma que se logre los requerimientos de iluminación con las mejores inter-distancias, las menores alturas de montaje y la menor potencia eléctrica de la fuente posible.<sup>2</sup>

Por otra parte los componentes principales de un sistema fotovoltaico está compuesto por: panel (es), batería (s) o acumulador (es), circuito regulador y por último la carga. Para este proyecto se diseña y se construye el circuito de control y regulación para el sistema, con lo cual se reduce los costos de inversión para el montaje del sistema.

---

<sup>3</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0540. (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, Anexo General. Bogotá, D.C., 2010. 227p.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un prototipo de alumbrado público con un sistema fotovoltaico integrado, que proporcione la potencia eléctrica necesaria para alimentar una lámpara tipo led, durante un periodo de tiempo determinado.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Cálculo y selección de los componentes eléctricos del sistema fotovoltaico.
- Diseño del sistema de control y regulación del sistema fotovoltaico.
- Montaje del sistema de generación fotovoltaica.

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 REFERENCIAS HISTÓRICAS Y SITUACIÓN ACTUAL

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno en el cual electrones son emitidos de un material (sólidos metálicos y no metálicos, líquidos o gases) luego de la absorción de radiación electromagnética como los rayos-X y la luz visible. En este contexto los electrones emitidos pueden ser referidos como fotoelectrones. El efecto se denomina también Efecto *Hertz* debido a que fue descubierto por *Heinrich Rudolf Hertz*, sin embargo esta denominación ha caído en desuso.

El estudio del efecto fotoeléctrico ha permitido importantes avances para el conocimiento de la naturaleza cuántica de la luz y los electrones y ha influenciado el desarrollo del concepto de la dualidad frecuencia-partícula.

El efecto fotoeléctrico también se refiere a la foto-conductividad o fotorresistencia, efecto fotovoltaico o efecto foto electroquímico. Cuando una superficie se expone a la radiación electromagnética sobre cierta frecuencia del umbral (luz visible para los metales alcalinos, cerca del ultravioleta para otros metales, y al ultravioleta en el vacío para los no metales), se absorbe la luz y se emiten los electrones. En 1902, *Philipp Eduard Antón von Lenard* observó que la energía de electrones emitidos individuales aumentaba con la frecuencia, o color, de la luz. Esto parecía estar en desacuerdo con la teoría de onda de la luz de *James Clerk Maxwell*; quien expresaba que la energía de electrón sería proporcional a la intensidad de la radiación.

En 1905, *Einstein* solucionó esta aparente paradoja describiendo la luz como un compuesto discreto de Cuantos (Fotones) y ondas continuas. Basado en la teoría de *Max Planck* de la radiación del cuerpo negro, Einstein teorizó que la energía en cada cuanto de luz era igual a la frecuencia multiplicada por una constante, que posteriormente se denominó constante de *Planck*. Un fotón sobre la frecuencia del umbral tiene la energía requerida para expulsar un solo electrón, creando el efecto fotovoltaico. Este descubrimiento llevó a la revolución del cuanto en la física (física cuántica) y dio a Einstein el Premio Nobel en 1921.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés *Alexander Edmond Becquerel*. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica.

En 1883 el inventor norteamericano *Charles Fritts* construye la primera célula solar con una eficiencia del 1%. La primera celda solar fue construida utilizando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro. Debido al alto costo de esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad. Las aplicaciones de la celda de Selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas. La celda de Silicio que hoy día se utiliza proviene de la patente del inventor norteamericano *Russell Ohl*. Fue

construida en 1940 y patentada en 1946. La época moderna de la celda de Silicio llega en 1954 en los Laboratorios *Bells*. Accidentalmente experimentando con semiconductores se encontró que el Silicio con algunas impurezas era muy sensible a la luz.

La primera utilización práctica de la generación de energía con celdas fotovoltaicas fue en los dos primeros satélites geoestacionarios de URSS y USA.

Los avances logrados con la celda de silicio en 1954 contribuyeron a la producción comercial, lográndose una eficiencia del 6%.

La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y los EEUU un año después el 1 de febrero de 1958. En el diseño de este se usaron células solares creadas por *Peter Iles* en un esfuerzo encabezado por la compañía *Hoffman Electrónicas*.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano *Explorer 1*, lanzado en Febrero del año 1958. Este evento generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo de gran importancia que estimuló la investigación buscando paneles cada vez más eficientes y motivó a la industria de tecnología. El primer mercado de los paneles fotovoltaicos fue entonces dirigido al sector aeroespacial. Los resultados positivos de la misión *Explorer 1* marcaron una pauta en el desarrollo de las comunicaciones y los paneles fotovoltaicos. La celda de Silicio entra en el escenario de la industria y empieza el desarrollo de tecnologías en la producción. El primer paso fue y aún lo es, buscar paneles más eficientes. Esto se logró en 1970, la primera célula solar con heteroestructura de arseniuro de galio (*GaAs*) y altamente eficiente se desarrolló en la Unión Soviética por *ZhoreAlferov* y su equipo de investigación.

El siglo XXI nace con una premisa para el desarrollo sostenible medio-ambiental. El creciente desarrollo industrial y de consumo trae como consecuencia un deterioro del medio ambiente a través de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases que además de destruir la capa de Ozono afectan la salud del hombre de forma progresiva y constante, generando preocupación en la opinión pública y en los gobiernos de los países desarrollados.

La protección de medio ambiente es compromiso de todos, gobiernos, personas e industrias. Hoy día vemos un gran crecimiento, tanto en la producción de paneles solares cada vez más económicos como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios están asociados a las zonas urbanas, donde los edificios disponen de red eléctrica. El primer ejemplo es del año 1978 y corresponde a una vivienda conectada a la red en Estados Unidos. Pero hasta finales de los años 80 no empiezan a comercializarse componentes específicos para el sector residencial, y es a principios de los 90 cuando se fabrican los primeros módulos con características especiales para la integración en edificios.

La integración arquitectónica ha tomado especial relevancia en los últimos años. Los ejemplos crecen exponencialmente en numerosas ciudades occidentales. El mercado de productos fotovoltaicos para la integración evoluciona muy rápidamente, tanto en módulos con diseños especiales como en sistemas de fijación para las distintas aplicaciones<sup>3</sup>.

## **5.2 AVANCES RECIENTES EN EL MARCO POLÍTICO, NORMATIVO E INSTITUCIONAL EN COLOMBIA**

Uno de los antecedentes más importantes en el tema de eficiencia energética en Colombia es la promulgación de la ley 697 de octubre de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones. La ley en su artículo 4° decreta que el ministerio de minas y energía será la unidad responsable de promover, organizar, y asegurar el desarrollo y el seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía de acuerdo a lo dispuesto en dicha ley.

En su artículo 5° se decretó la creación del programa de Uso Racional de la Energía y demás formas de energía no convencionales “PROURE”, que diseñara el Ministerio de Minas y Energía, cuyo objeto es aplicar gradualmente programas para toda la cadena energética, este cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética y sin perjuicio de lo dispuesto en la normatividad vigente sobre el medio ambiente y los recursos naturales renovables.

En diciembre de 2003, mediante el decreto 3683 se reglamentó la ley 697/2001 y se creó la comisión intersectorial para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Fuentes No Convencionales de Energía, CIURE.

En enero de 2005, mediante el decreto 139, se modificó parcialmente el Decreto 3683/03 y en junio de 2006, mediante la resolución 18 0609 se definieron los subprogramas que hacían parte del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales, PROURE, y se adoptaron otras disposiciones.

A partir de esta última resolución, el PROURE quedó conformado por los siguientes subprogramas:

---

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA. Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano. [En Línea]. URL<[http://dspace.unia.es/bitstream/10334/503/1/0115\\_Sanchez%20.pdf](http://dspace.unia.es/bitstream/10334/503/1/0115_Sanchez%20.pdf)>. (Consulta 02 julio, 2012).

- Fomento y desarrollo de proyectos con fuentes energéticas no convencionales y de eficiencia energética, incluidos los proyectos de energías limpias o renovables con prioridad en zonas no interconectadas.
- Edificaciones arquitectónicas y equipamiento asociado para URE.
- Control de pérdidas de energía.
- Cambio climático e iniciativas de mercado de metano y secuestro y captura de carbono.
- Estímulos e incentivos a tecnologías, productos y proyectos URE o al uso total o parcial de energías no convencionales.
- Productos o actividades de producción más limpia y de ahorro y de eficiencia energética, que requieran equipos, elementos y maquinarias destinados a la reducción en el consumo de energía y/o eficiencia energética.
- Fomento del URE en los sectores oficial, comercial, transporte, residencial (incluido vivienda de interés social), industrial (medianas y pequeñas empresas Mypimes y empresas de servicios, ESCOs).
- Sustitución de combustibles tradicionales por otros combustibles potencialmente más limpios y específicamente el fomento y utilización de biocombustibles.
- Actualización y/o reconversión tecnológica de equipos industriales en función del URE.

El 4 de julio de 2007 se publicó el decreto 2501 de la presidencia de la república por el cual se dictaron disposiciones para promover prácticas con fines de uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

En sus artículos se decretaba:

#### **Artículo 1ro. Objetivo y campo de aplicación.**

Las medidas señaladas en el presente decreto para propiciar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica se aplicaran, en los siguientes productos y procesos:

- En los productos utilizados en la transformación de energía eléctrica tanto de fabricación nacional como importada, para su comercialización en Colombia: Transformadores de potencia y de distribución; b) generadores de energía eléctrica.
- En los productos destinados para el uso final de energía eléctrica, tanto de fabricación nacional como importados, para su comercialización en Colombia, en los siguientes procesos: Iluminación; refrigeración; acondicionamiento de aire; fuerza motriz; calentamiento para uso doméstico; calentamiento para cocción; las edificaciones donde funcionen entidades públicas; las viviendas de interés social; Los sistemas de alumbrado público; los sistemas de iluminación de semaforización.



## **Artículo 2do. Reglamento técnico con fines de eficiencia energética.**

Los ministerios de mina y energía, y de comercio, industria y turismo, expedirán las normas técnicas para el diseño y aporte de etiquetado con fines de uso racional y uso eficiente de la energía eléctrica, aplicable a los productos que se relacionen con los procesos indicados en los numerales 1 y 2 del artículo 1º de este decreto.

## **Artículo 3ro. Uso racional y eficiente de energía eléctrica en vivienda de interés social.**

A partir del tercer año de la expedición de este decreto, como requisito para recibir requisitos del presupuesto nacional, los constructores de vivienda de interés social y en general aquellas que reciban estos recursos públicos, deberán incorporar en los diseños y en la construcción de la vivienda, aspectos de uso eficiente y racional de la energía en conformidad con los parámetros técnicos que para el efecto establezcan los ministerios de minas y energía, ambiente vivienda y desarrollo territorial.

## **Artículo 4to. Uso racional y eficiente de energía eléctrica en iluminación y alumbrado público.**

El ministerio de minas y energía expedirá el reglamento técnico correspondiente al uso racional y eficiente de energía eléctrica en iluminación y alumbrado público.

## **Artículo 5to. uso racional y eficiente de energía eléctrica en semaforización.**

El ministerio de minas y energía expedirá la reglamentación técnica correspondiente para que al partir del quinto año de la fecha de expedición del presente decreto, se promueva la utilización de tecnologías de iluminación de mayor eficiencia en los sistemas de semaforización pública, tanto para instalaciones nuevas como para sus modificaciones.

## **Artículo 6to. Responsabilidad.**

Para dar cumplimiento al artículo 2.9 del acuerdo sobre obstáculos técnicos al comercio, adoptado por Colombia mediante la ley 170 de 1994, y a las decisiones de la comunidad andina de naciones aplicada, los anteproyectos de reglamentos técnicos que se elaboren, se publicarán en las páginas internet oficiales de los ministerios de minas y energía, y de comercio, industria y turismo y ambiente vivienda y desarrollo territorial, para que en esta etapa temprana los sectores y otros interesados puedan formular sus observaciones. Así mismo, los textos de los proyectos de reglamentos técnicos sobre los temas aquí referidos se notificaran internacionalmente, de acuerdo con la legislación vigente y los acuerdos internacionales de los cuales Colombia hace parte.

**Artículo 8vo. Vigencia.**

El presente decreto entrara en vigencia a partir de la fecha de su publicación en el diario oficial y deroga las disposiciones que le sean contrarias.<sup>4</sup>

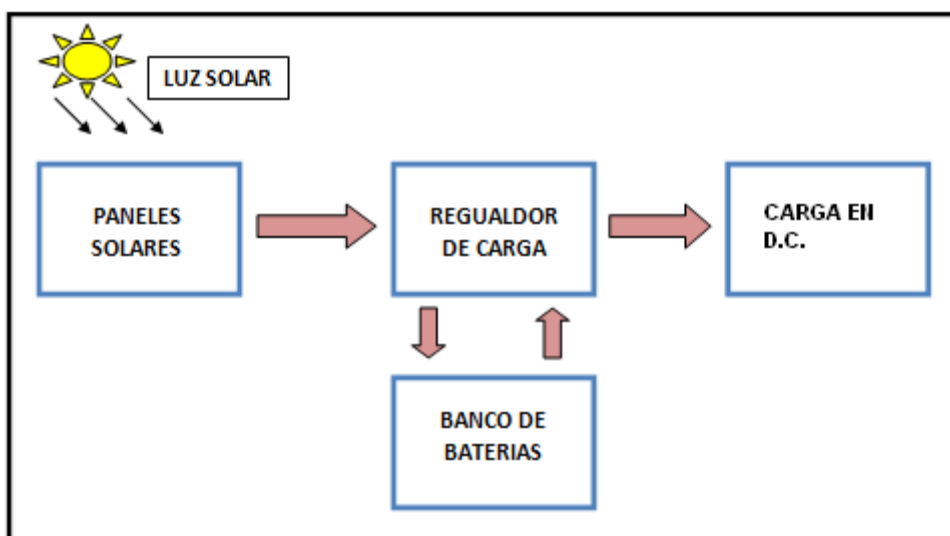
---

<sup>4</sup>COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Situación y perspectiva de la eficiencia energética en América latina y del Caribe. [En línea]. [Citado julio de 2012]. Disponible en internet: <<http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/1/37451/lcw280e.pdf> >.

## 6. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El esquema de proceso de un sistema fotovoltaico es el siguiente:

Figura 1. Diagrama en bloque del sistema solar fotovoltaico



Fuente: Diseño propio.

### 6.1 LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Actualmente las energías renovables se encuentran ya en una buena posición con relación a las llamadas energías fósiles (carbón, petróleo, gas), para contribuir a satisfacer la demanda creciente en los sistemas eléctricos y además en forma competitiva económicamente en la mayoría de los casos. A futuro, se espera que las llamadas energías renovables puedan jugar un papel importante en la sustitución de las energías fósiles no renovables, no solo por su posible extinción, sino también por la contaminación que produce. Dentro de estas energías renovables, la llamada **energía solar fotovoltaica** es una forma confiable y limpia de producción en pequeña y mediana escala.

**La tecnología fotovoltaica** se define entonces como aquella usada para el aprovechamiento eléctrico de la energía solar y que se deriva de las llamadas celdas fotoeléctricas, por medio de las cuales la luz solar se transforma en forma directa en electricidad, aprovechando para esto las propiedades eléctricas de los semiconductores. De hecho, un sistema fotovoltaico es como cualquier otro sistema de generación de energía eléctrica, solo que el equipo usado es diferente del empleado en los sistemas convencionales de generación electromecánicos; sin embargo, los principios de operación e interconexión con otros sistemas eléctricos son los mismos y están guiados por normas y códigos bien establecidos. Aun cuando un arreglo fotovoltaico produce potencia

cuando se expone a la luz del sol, se requiere de algunas otras componentes para conducir, controlar. Convertir, distribuir y almacenar en forma apropiada la energía producida.

Las principales ventajas que ofrece un arreglo fotovoltaico son las siguientes:

- La energía proveniente del sol es limpia y renovable, pero además sin costo.
- En muchos casos reduce la dependencia energética.
- Evita los costos de instalación y mantenimiento de redes eléctricas, particularmente cuando se trata de zonas aisladas.
- Su instalación se hace a base de módulos, por lo que la potencia requerida se puede aumentar o distribuir según se requiera.
- Tiene un riesgo de falla y mantenimiento bajo y son además simples de instalar y silenciosas.
- Es tecnología en rápido desarrollo que tiende a reducir costos.

En la actualidad, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos existentes se han diseñado y construido para operar en forma aislada en aplicaciones remotas, como casas y ranchos en zonas rurales, donde el consumo de potencia es muy bajo.

En los años recientes ha habido un mejor desarrollo tecnológico en la tecnología solar fotovoltaica que ha permitido una mayor confiabilidad de estos sistemas y un abaratamiento de los mismos en forma directa a través de una mejor eficiencia, aspecto que ante los problemas ambientales ha hecho que tienda a incrementar el uso de esta tecnología.

## **6.2 LA ENERGÍA SOLAR**

La radiación solar no resulta un producto homogéneo, más bien está constituido por un conjunto de radiaciones con distintas propiedades físicas que producen resultados distintos según sea su estructura. Como expresiones de lo que se conoce como radiación, se tiene la luz y el calor. La caracterización de la radiación solar incidente en la tierra no resulta un problema sencillo de resolver, debido a estas razones principalmente:

- La radiación solar es aleatoria, lo que hace imposible determinada en forma definitiva y exacta.
- El movimiento relativo sol-tierra es regido por ecuaciones muy complejas que permiten determinar en todo momento la posición relativa del sol con respecto a cualquier punto de la superficie de la tierra.

La tierra órbita alrededor del sol con dos movimientos diferentes que lleva a cabo al mismo tiempo:

El movimiento de rotación alrededor de su eje, que pasa por los dos polos, se le llama eje polar, y tiene una velocidad aproximada de una vuelta por día.

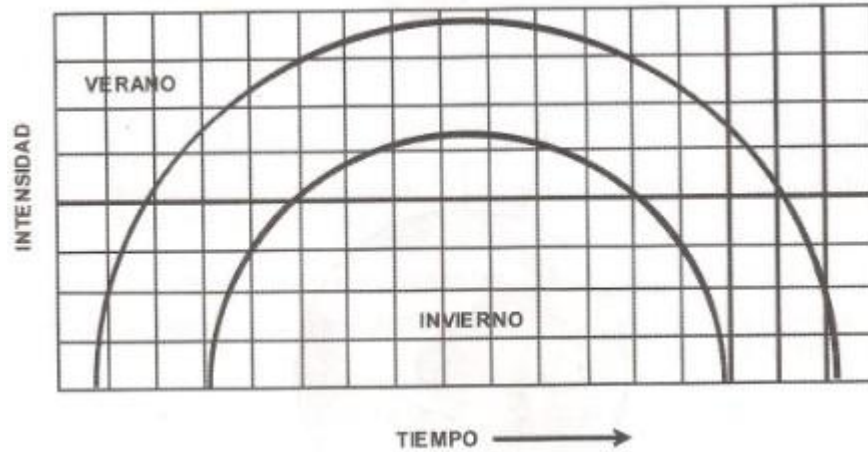
El movimiento de traslación alrededor del sol descubriendo una órbita elíptica en la que este ocupa uno de los focos. El plano que contiene esta órbita se llama plano de la elíptica y tarda un año en recorrerlo por completo. El llamado eje polar o eje de rotación terrestre sobre el que gira la tierra mantiene una dirección aproximadamente constante formando un ángulo de  $23.45^\circ$  con el plano de la elíptica, denominado oblicuidad de la elíptica, es decir, la recta que une los centros de la tierra y el sol y que cambia entre  $+23.45^\circ$  y  $-23.45^\circ$ , a este ángulo se le conoce como declinación solar.

La oblicuidad de la elíptica permite explicar básicamente dos cosas: el distinto calentamiento de la tierra en función de su posición en la órbita (es decir, las estaciones del año: primavera, verano, otoño e invierno) y también la duración del día y de la noche a lo largo del año. La declinación solar se anula en los equinoccios de primavera (22/23 sept.) y de otoño (20/21 marzo). En estos días el sol se encuentra en el ecuador y la duración del día es igual a la de la noche en toda la tierra, además las posiciones de salida y puesta del sol coinciden con el este y con el oeste respectivamente.

**El solsticio de verano** (21/22 junio), la declinación es de  $+23.45^\circ$  y el sol se encuentra en el trópico de cáncer, lo que significa que el día es más largo y la noche más corta en el hemisferio norte.

**En el solsticio de invierno** (21/22 de diciembre), la declinación es de  $-23.45^\circ$  y el sol se encuentra en el trópico de capricornio, lo que significa que en el hemisferio norte el día es más corto y la noche más larga, en tanto en el hemisferio sur ocurre lo contrario. Además de variar el tiempo que esta sobre el horizonte, el sol varía la altura que es capaz de alcanzar al medio día. Para simplificar este problema, se supone que la tierra es fija y él está dando vueltas, de manera que un observador vería que el sol sigue unas trayectorias como las mostradas en la figura:

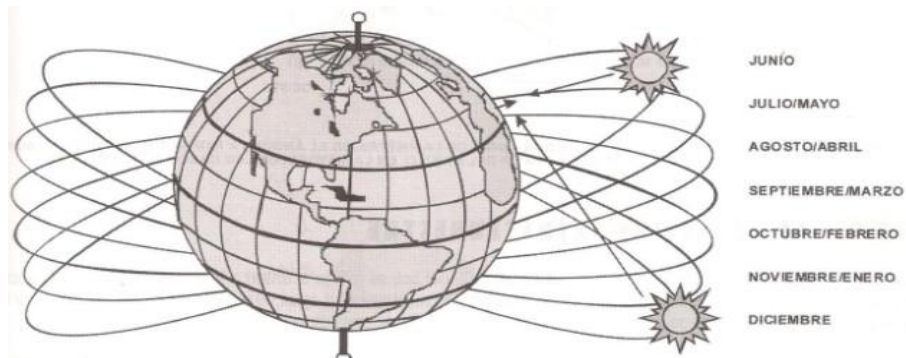
Figura 2. Variación del tiempo y altura del sol referente a la estación



Fuente: HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

La posición del sol queda determinada por medio de dos ángulos que son: la altura y el azimut. La altura se define como el ángulo que forma el sol, el observador y el horizonte, en tanto que el azimut es un ángulo que forma la proyección de la línea sol-observador con la dirección del sur. En los aspectos relacionados con la energía solar, el uso de los ángulos de la altura o elevación y el azimut pueden ser relevantes para saber si un árbol o un edificio van a hacer sombra sobre el equipo solar en algún momento del año.

Figura 3. Posición del sol durante un periodo de año



Fuente: HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

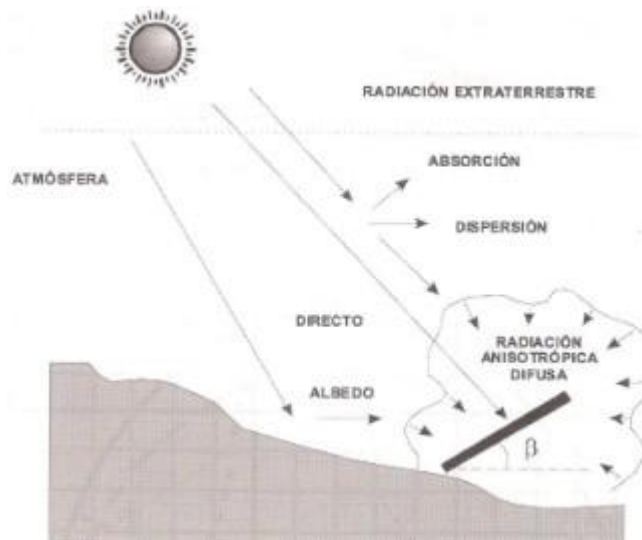
### 6.3 LA RADIACIÓN EXTRATERRESTRE

La radiación extraterrestre que procede directamente del sol, se refleja al entrar a la atmósfera por la presencia de las nubes, el vapor de agua, etc., y dispersada por las moléculas de agua, polvo en suspensión, etc., por lo que la radiación solar que llega a una superficie terrestre procede de tres componentes:

- **Radiación directa.** Es la formada por los rayos del sol directamente, es decir, que no llega a ser dispersada.
- **Radiación difusa.** Es la procedente de toda la bóveda celeste excepto la que llega del sol, originada por los efectos de dispersión indicados antes.
- **Radiación de albedo.** es la procedente del suelo debida a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre montañas, lagos, edificios, etc., y depende directamente de la naturaleza de estos elementos. Esta reflexión se obtiene del cociente entre la radiación reflejada e incidente sobre la superficie.

La radiación global es la suma de las tres componentes, en adición a que tanta luz solar se pueda obtener directamente, la intensidad de la luz del sol es importante. Cuando el sol está en la parte de abajo del cielo, la radiación solar debe pasar a través de más atmósfera y se reduce por lo tanto por dispersión y absorción.

Figura 4. Distintos componentes de la radiación solar



Fuente: HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

El sol es más intenso cuando está directamente sobre la cabeza y la luz solar del verano es mucho más fuerte que la del invierno, de la misma manera, el sol sufre cambios con el clima. Es necesario tener conocimiento de los conceptos básicos de la energía solar, como lo es la radiación y la insolación para poder comprender

el funcionamiento y rendimiento de los sistemas fotovoltaicos, en particular la insolación es un parámetro clave para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

El recurso solar de un sitio en particular se puede caracterizar en términos de la radiación y la insolación. La radiación es la intensidad de la luz solar, las unidades más comunes son watts por metro cuadrado ( $\text{Watts/m}^2$ ) o kilowatt por metro cuadrado ( $\text{KW/m}^2$ ), la superficie captadora en este caso es el arreglo fotovoltaico, que recibe más radiación cuando se orienta directamente al sol y no hay obstáculos que hagan sombras como nubes y árboles. En un día despejado, la radiación sobre una superficie perpendicular al sol alcanza un máximo de 1.0 a 1.2  $\text{KW/m}^2$  al medio día. La insolaciones son la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo, sus unidades son Kilowatts hora/ $\text{m}^2$  ( $\text{KW-h/m}^2$ ) para dimensionar el sistema fotovoltaico, es necesario conocer la insolación diaria promedio, de preferencia si es para cada mes del año. El valor de la insolación diaria promedio se expresa por lo general en horas solares pico (HPS), una hora solar pico es la energía recibida durante una hora a una radiación promedio de 1( $\text{KW-h/m}^2$ ) es decir:

$$1 (\text{KW} - \text{h/m}^2) = 1 \text{ HPS}$$

En la figura siguiente, se puede visualizar más fácilmente este concepto, no se debe confundir las HPS con las llamadas “horas luz” que corresponden a la duración del día.

Para el diseño de los sistemas fotovoltaicos lo relevante es el conocimiento de las HSP y no las horas luz. La insolación diaria promedio varía entre 3 y 7 HSP dependiendo del lugar.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup>HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.



Figura 5. Radiación e insolación (tomando 6 HSP en este ejemplo) en un día despejado.



Fuente: HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

## 7. CONDUCTORES, AISLANTES Y SEMICONDUCTORES

La materia está compuesta por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de carga eléctrica positiva y los electrones, que giran alrededor del núcleo en diferentes bandas de energía, con carga negativa que compensa a la del núcleo. Este conjunto, en condiciones normales, se mantiene estable y es eléctricamente neutro. A los electrones de la última capa se le ha dado el nombre de electrones de valencia y tienen la característica de poder relacionarse con otros similares, formando una red cristalina. En base al comportamiento de los electrones de esta última capa (o bandas), se puede hacer una división de los materiales eléctricos en: conductores y aislantes.

Dado que el fenómeno FV tiene lugar dentro de un semiconductor, es necesario entender que hace que un material sea buen conductor, un buen aislante (no conductor) y, por último, un semiconductor. La corriente eléctrica es un movimiento de cargas eléctricas. Por definición, es la cantidad de cargas que circulan por unida de tiempo. Cuando ente los extremos de un material se aplican tensión, se crea un campo eléctrico dentro del mismo. Los electrones pertenecientes a la órbita exterior de un átomo de este material, la más lejana del núcleo, estarán sometidos a una fuerza cuyo valor está dado por la expresión:

$$F=q \cdot E$$

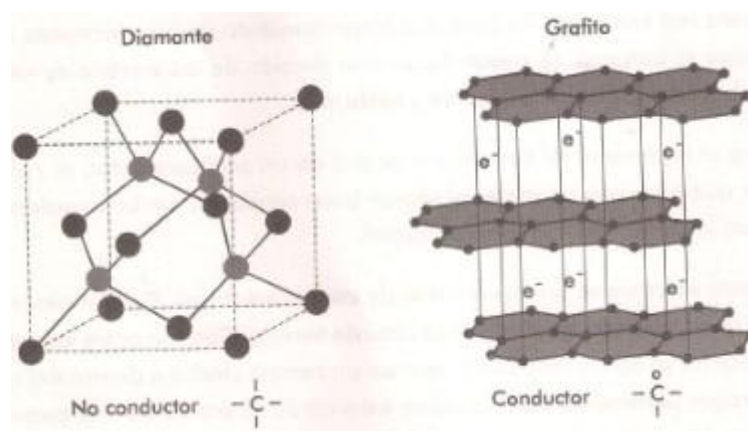
Dónde:

q: valor de la carga, en culombios.

E: valor del campo eléctrico, en V/m.

Pero, ¿qué es lo que hace que un material sea o no conductor de la electricidad? La respuesta es su estructura atómica. En materiales conductores, como el cobre, el aluminio o el grafito, los electrones de la banda externa tienen mucha movilidad, y pasan de átomo a átomo, aun a temperatura ambiente. Bajo la acción de un campo eléctrico (tensión entre los extremos), la fuerza dada por la expresión anterior los pone en movimiento. El valor de la conductividad (inversa de la resistividad) es elevada en estos materiales. En materiales aislantes, como el vidrio, el diamante o la porcelana, aun con elevados valores del campo eléctrico (altas tensiones) la fuerza que se ejerce sobre los electrones de la órbita externa no es suficiente para desplazarlos y establecer una corriente, ya que su movilidad es prácticamente nula. Las dos formas cristalinas distintas del carbón: el grafito (conductor) y el diamante (aislante) son puestas como ejemplos a propósito, para mostrar como la estructura interna de la sustancia determina la movilidad de las cargas de la misma.

Figura 6. Formas cristalinas distintas del carbón.

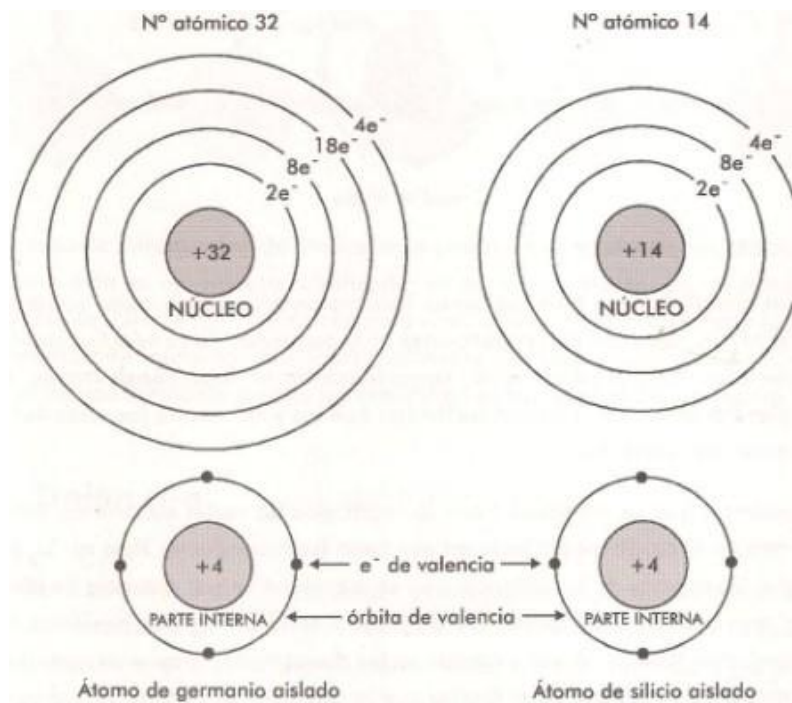


Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Cuando el átomo de una sustancia pierde un electrón, se transforma en un ion positivo. La pérdida de un electrón crea, en efecto, dos cargas dentro del material: una negativa (electrón libre) y otra positiva (resto del átomo).

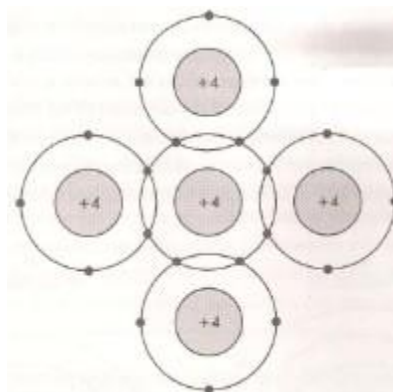
El átomo de silicio tiene 14 electrones de los que 4 electrones de la última capa son de valencia, lo quiere decir, que están disponibles para unirse con electrones de valencia de otros átomos. En un cristal de silicio químicamente puro cada átomo está unido en forma covalente con otros cuatro átomos; así que dentro del cristal no hay, como consecuencia del enlace químico, electrones libres. En sustancias como el germanio (Ge) y el silicio (Si) los electrones de la capa exterior de un átomo son compartidos por átomos adyacentes formando una estructura fija rígida (estructura cristalina) en donde los electrones carecen de movilidad. Por eso el germanio y el silicio puro son sustancias aislantes.

Figura 7. Átomo de silicio y átomo de germanio



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Figura 8. Cristal de silicio

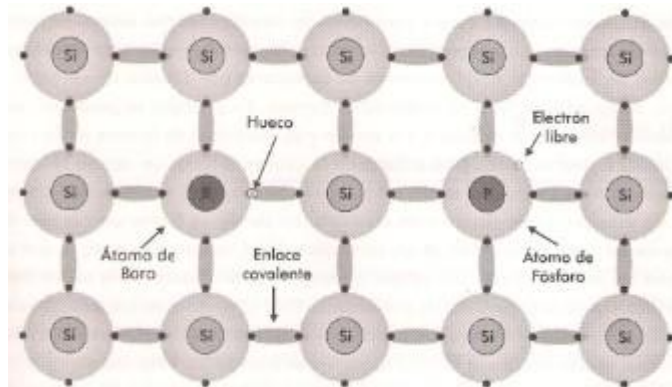


Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Si en un cristal de este tipo se logra incorporar átomos de otras sustancias (impurezas), aunque sea en proporciones muy pequeñas, la conductividad de estos materiales varía drásticamente, convirtiéndolos en semiconductores. Estos materiales tienen un valor de conductividad que los sitúa entre los aislantes y

conductores de corriente. Si la sustancia que se introduce tiene la capacidad de introducir electrones, estos se convierten en la carga mayoritaria en esa zona (semiconductores tipo n. si, por el contrario, los átomos de la sustancia que se introduce tiene carencia de electrones, la mayoría de los átomos en esta zona tendrán cargas positivas libres (semiconductores tipo p). a estas cargas se les denomina huecos ya que electrón tomado deja un vacío en el átomo que lo cedió. A las sustancia que se utilizan se usan para alterar la conductividad del cristal puro se les conoce como dopantes. En el dopado tipo p, la creación de huecos, se consigue mediante la incorporación en el silicio de átomos con 3 electrones de valencia (electrón que falta se comportaría como un electrón “positivo”), generalmente se utiliza boro. En el dopaje de tipo n, la presencia de electrones adicionales se obtiene incorporando un átomo de 5 electrones de valencia, generalmente fosforo.

Figura 9. Enlace entre átomos.



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

En este proceso de introducción de átomos que ceden o toman electrones, difusión, se ha convertido en un proceso robotizado, en donde los átomos de las sustancias dopantes se introducen utilizando cañones electrónicos que bombardean los cristales (proceso de implantación). Industrialmente se usa el cristal de silicio (Si) porque su comportamiento a altas temperaturas es superior a la del germano (Ge).

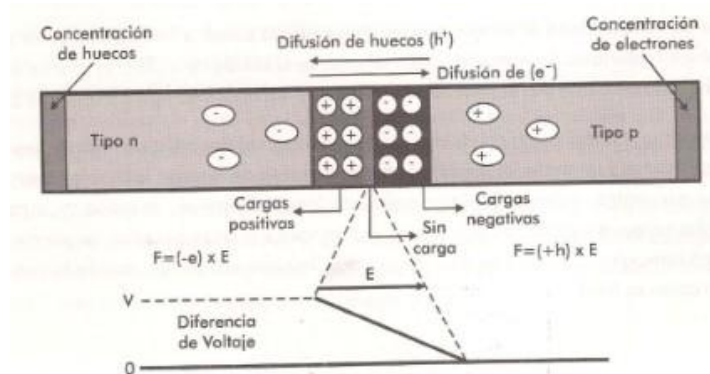
## 7.1 UNIÓN N-P

Para dar una utilidad al semiconductor es necesario poner a interactuar entre si diversos materiales. La estructura más sencilla es el diodo de unión, la cual no es más que la unión de dos semiconductores de distinto tipo: unión tipo n y otro tipo p.

Se tiene un material semiconductor (silicio o germanio) dopado tipo n con exceso de electrones y un material dopado tipo p con exceso de huecos, los cuales cuando se encuentran aislados se encuentran en equilibrio iónico. Al unirlos, la

teoría muestra que las cargas mayoritarias (electrones por un lado y huecos por otro) no permanecen inmóviles, si no que se desplazan hacia la zona adyacente, donde la concentración es baja. Este desplazamiento de cargas (corrientes de desplazamiento) acumula cargas positivas en la zona n y negativas en la zona p, formando una barrera virtual que tratara de impedir el desplazamiento de portadores por difusión de un lugar a otro, aunque físicamente no exista dicha barrera. En principio se producirá una difusión de huecos de la zona p, hasta formarse una región polarizada la cual va a tener un campo eléctrico asociado. A medida que el efecto del campo aumenta, se va reduciendo el proceso de difusión; hasta llegar a un equilibrio donde se forma una región de deflexión (zona de la unión de los semiconductores tipo p y tipo n, en la que se crean los pares de iones con cargas opuestas a ambos lados de la unión. Esta zona carece de electrones libres y huecos), la cual va a tener una diferencia de potencial de contacto; los portadores mayoritarios de ambas regiones tienen que vencer ahora esa barrera de potencia para poder desplazarse. La letra n se correlaciona con negativo y la letra p con positivo, indicando cual es la carga mayoritaria en cada zona.<sup>6</sup>

Figura 10. Estado de equilibrio para una unión n-p



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

<sup>6</sup>SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

## 8. FUNDAMENTOS DE TECNOLOGÍA FOTO VOLTAICA

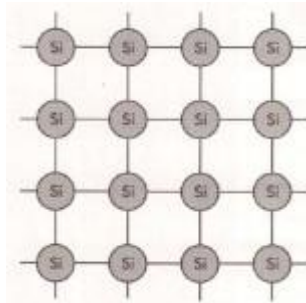
Es posible convertir directamente energía solar en energía eléctrica por un proceso fotovoltaico. La fotovoltaica es una tecnología basada en semiconductores (foto = luz, voltaico = voltaje) que convierte energía proveniente de la luz solar directamente en corriente eléctrica, que se puede usar ya sea en forma inmediata o almacenada en una batería por ejemplo, para su uso posterior. El efecto fotovoltaico es la generación de una fuerza electromotriz (f.e.m.) como resultado de la absorción ionizante. Los dispositivos para la conversión de la energía que se usa para convertir la luz solar en electricidad por efecto fotovoltaico, son conocidos como celdas fotovoltaicas, celdas solares o células fotovoltaicas, es decir, que una celda solar es un transductor que convierte la energía radiante del sol directamente en electricidad y es básicamente un diodo semiconductor capaz de desarrollar una tensión de 0.5-1.0V y una densidad de corriente de 20-40 mA/cm<sup>2</sup>, dependiendo de los materiales usados y de las condiciones solares.

### 8.1 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que llega a la tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados paneles solares. El material que se emplee para su fabricación debe ser especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican. Con dicho material (sensible a la radiación solar) se construyen las células solares. Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a las decenas de cm<sup>2</sup>. La mayor parte de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. Es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO<sub>2</sub>). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips. Las células o celdas solares se fabrican a partir de planchas de este material. Generalmente una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0.25 y los 0.35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm<sup>2</sup>. El proceso de fabricación varía según las cualidades que se quieran obtener (rendimiento, flexibilidad y economía): a mayor pureza, más altos son los costos, para una calidad que no va a suponer un incremento sustancial del rendimiento. Las celdas solares de silicio pueden constituirse de cristales mono-cristalinos, poli-cristalinos o de silicio amorfo. La diferencia entre ellas radica en la forma como

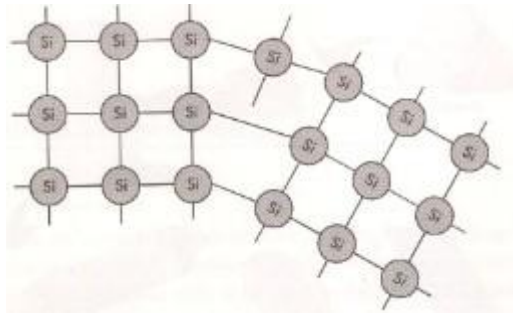
están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina: es la estructura cristalina que hace que tengan características diferentes.<sup>7</sup>

Figura 11. Estructuras del silicio mono cristalino



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Figura 12. Estructura del silicio poli-cristalino



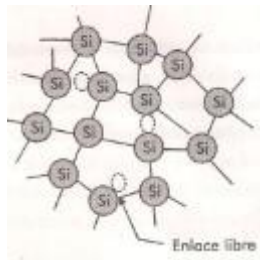
Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

---

<sup>7</sup> SANCHEZ MAZA. Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 200.314 p.

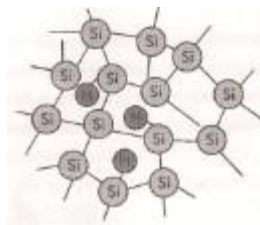


Figura13. Estructura del silicio amorfo



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Figura 14. Silicio amorfo hidrogenado



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

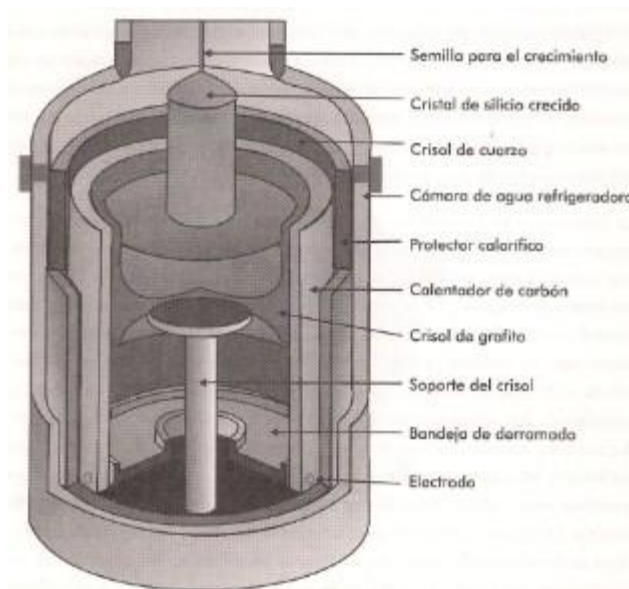
Existe además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio mono-cristalino y poli-cristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.

## 8.2 CÉLULAS DE SILICIO CRISTALINO

### 8.2.1 Silicio monocristalino

Las planchas mono-cristalinas son de una pureza elevada y una estructura cristalina casi perfecta, ya que se han obtenido en un largo, sofisticado y delicado proceso de elaboración.

Figura 15. Cristalización por el método *czochralski*



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Las células de silicio mono-cristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en el crisol a una temperatura de unos 1.400 °C, junto con una pequeña proporción de boro (material menos electronegativo que el silicio). Una vez que el material se encuentra en estado líquido se introduce una varilla con un “cristal germen” de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma, tras unas 8 horas de elaboración, se obtiene un mono-cristal dopado, con cierta carencia de electrones (tipo p), que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Esta forma de obtención recibe el nombre de método *Czochralski*. Estas obleas se introducen en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Con este tratamiento químico se crea la unión p-n, es decir, un campo eléctrico por diferencias de electronegatividades entre la zona p y la n. Así se consigue que una de las zonas tenga deficiencia de electrones, la p, y la otra tenga exceso, la n. Debido a esta diferencia de carga eléctrica en el material, se produce un campo eléctrico encargado de empujar a los electrones a salir de la célula por la superficie de la capa n, lo que conlleva el establecimiento de una corriente eléctrica.

La célula que se obtiene ha de estar dotada de unos contactos eléctricos para poder canalizar la energía que produce cuando recibe la insolación. Estos contactos, sobre la cara asoleada, se reparten en forma ramificada y se unen a

dos contactos principales. El material del que están constituidos los electrodos, tanto frontal como posterior, suele ser una aleación de diversos metales, como son: la plata, titanio, paladio, cobre, aluminio, etc., que varían en función del tipo de creación de los contactos, son quizás los serigraficos, dado su bajo costo de producción, así como la facilidad de automatización. En la cara posterior que no recibe sol, el metal se suele extender a toda la superficie o formar una malla metálica muy tupida. Además, se recubre con un tratamiento anti-reflexivo de dióxido de titanio o zirconio. Son diferentes los métodos aplicados para crear la capa anti-reflectante, pero generalmente se utiliza la evaporación al vacío, que consiste en una calefacción eléctrica que evapora el material anti-reflectante depositado previamente. Otro método cada vez más utilizado consiste en la creación de pequeñas pirámides en la superficie del material, que realizan una función de rebote del rayo incidente, de forma que gran parte penetre dentro del semiconductor. Este es un proceso muy costoso y que requiere mucha energía, aunque se obtiene el cristal más eficaz, con rendimientos aproximados del 15 al 18%. Se distinguen por su color azul homogéneo o negro. Los módulos fabricados con este material tienen tal calidad, que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

### **8.2.2 Silicio poli-cristalino**

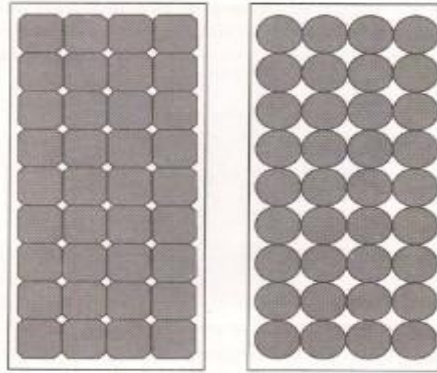
Las Células de silicio poli-cristalino se obtienen de manera similar, salvo porque se de planchas poli-cristalinas, que son más baratas. Estas planchas son obtenidas por un proceso de moldeo a partir de pasta de silicio formada por múltiples pequeños cristales de silicio, la cual es fundida y vertida en un molde donde se deja asentar lentamente, con lo cual se tiene un sólido formado por muchos pequeños cristales. Entonces se rebana en planchas de menor espesor que las mono-cristalinas (solo algunas micras). Su composición a partir de pequeños cristales elementales hace que su color no sea uniforme, si no que presente diferentes tonalidades de azul. Esta forma de obtención hace que sean más baratas que las planchas mono-cristalinas, pero no tan eficientes. El rendimiento más bajo es debido a las imperfecciones en la estructura cristalina llegando hasta el 12 ó 14%. Aunque su rendimiento es inferior a las mono-cristalinas, su menor costo ha contribuido enormemente a aumentar su uso. Tanto en este proceso como en el anterior, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el cortado. La garantía del producto puede ser hasta 20 años, dependiendo del fabricante.

El método de fabricación determina, en gran parte, la forma geométrica de la celular FV. Las primeras versiones de silicio mono-cristalino eran redondas, pues el cristal puro tenía una sección circular. Versiones más recientes tienen forma cuadrada, o casi- cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45 °C.

Las células de silicio poli-cristalino son cuadradas por el molde donde se vierte el semiconductor tiene esta forma. La forma cuadrada permite un mayor compactado

de las mismas dentro del panel FV, disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células.

Figura 16. Configuración de celdas en Paneles FV



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

### 8.2.3 Células de lámina delgada

Se considera como tecnología fotovoltaica de capa delgada o todas aquellas células y módulos en los que la capa activa o absorbente tiene un espesor de unos pocos micrómetros. También llamados *thin-films*. La tecnología de la capa delgada, se puede indicar que ha tenido siempre un papel importante en la búsqueda de soluciones fotovoltaicas de bajo costo. Aunque esta tecnología surgió a la par que la del silicio cristalino, el desarrollo de ambas no ha alcanzado un estado comparable. En un principio la célula de sulfuro de cobre y sulfuro de cadmio ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$ ) fue el dispositivo fotovoltaico en lámina delgada dominante, más tarde se incorporaron otras tecnologías poli-cristalinas del seleniuro de cobre e indio ( $\text{CuInSe}_2$  o CIS) y telurio de cadmio. El éxito de los módulos de lámina delgada se debe a la flexibilidad de esta tecnología en cuanto a la forma y tamaño de los módulos, así como el número de células dentro del módulo, pudiéndose adaptar fácilmente los requisitos técnicos y los aspectos de diseño. Pero las expectativas en la tecnología de capa delgada en los últimos años se basan sobre todo en los valores de eficiencia de conversión que están alcanzando y a en haberse demostrado su estabilidad a largo plazo.

Las tecnologías de capa delgada implican la utilización de materiales tóxicos o que son escasos (en comparación con la cantidad de silicio presente en nuestro planeta), y aunque pueden presentar buenas características fotovoltaicas (aunque las eficacias globales de los módulos son considerablemente inferiores a la de los dispositivos de laboratorio) su uso se ve limitado por el costo de producción, que por el momento es la causa principal que limita la penetración en el de esta tecnología, al no haber respondido a las expectativas puestas en ella.

#### **8.2.4 Silicio amorfo**

El silicio amorfo pertenece al grupo de tecnología de lámina delgada. El silicio amorfo es silicio en una forma no cristalina, con defectos en sus enlaces atómicos. Sin embargo, si el silicio amorfo se deposita de tal manera que contenga una pequeña cantidad de hidrogeno, estos átomos de hidrogeno saturan muchos de los huecos de la red cristalina, permitiendo así a los electrones moverse a través del silicio. A la vez, el hidrogeno hace posible que el dopaje proporcione materiales tipo p o tipo n. en cualquier caso, en la regiones p o n obtenidas, la vida media de los portadores de carga es reducida.

Las células de silicio amorfo se obtienen depositando capas delgadas de silicio sobre un sustrato de bajo costo, que puede ser vidrio, plástico o similar, y son de un color homogéneo. El proceso de producción es relativamente simple y barato, y en él se consume poca energía, lo que hace posible la producción de células a gran escala. Tiene dos desventajas: la primera es su baja conversión comparada a las células mono-cristalinas y poli-cristalinas; la segunda es que las células se ven afectadas por un proceso de degradación en los primeros meses de funcionamiento, reduciendo la eficacia lo largo de la vida útil. La garantía del producto puede ser hasta 10 años, dependiendo del fabricante. Las células de silicio amorfas son utilizadas allí donde se busca una alternativa más económica o cuando se requiere muy poca electricidad (por ejemplo, alimentación de relojes, calculadoras, luces de emergencia). También se utiliza allí donde se prevé un fuerte calentamiento de los módulos. Sin embargo, el rendimiento es más de dos veces inferior al del silicio cristalino (sobre un 10%) y requiere por tanto mayor superficie para conseguir la misma potencia.

#### **8.2.5 Arseniuro de galio**

El arseniuro de galio es un semiconductor idóneo para la fabricación de células solares. Se trata de un material idóneo para la fabricación de células multi-unión o tándem. Las células esta formadas por múltiples películas delgadas cada una constituida por un semiconductor diferente. Las células multi-unión de arseniuro de galio, son células altamente eficientes que han sido conservadas para ser utilizadas en aplicaciones especiales como los satélites, vehículos de exploración espacial, etc., que requieren un alto rendimiento, al vez que un peso y dimensiones reducidas. Una célula de triple unión podría estar compuesta, por ejemplo, por GaAs, Ge y GaInP. Cada tipo de semiconductor se caracteriza por una banda de energía, que le hace, más sensible a la luz de determinado color, o dicho de manera más precisa, a absorber radiación electromagnética de una determinada región del espectro. En las células multi-unión, los semiconductores se escogen cuidadosamente para lograr absorber todo el espectro solar produciendo la máxima electricidad posible. Las células multi-unión da GaAs son las células solares más eficientes hasta la fecha, alcanzando valores superiores al 30%. También son las más costosas de producir. Esto, junto a la toxicidad del

arseniuro de galio, que puede suponer daños medioambientales, frena la producción a gran escala.

### **8.2.6 Células de telurio de cadmio/sulfuro de cadmio (cts)**

Este semiconductor presenta características muy parecidas a las del arseniuro de galio. Las células solares CTS están compuestas por un estrato p de telurio de cadmio (CdTe) y estrato n de sulfuro de cadmio (CdS). Estas células se fabrican aplicando diversas técnicas de deposición de materiales, similares a las que se emplean para las células de silicio amorfo, con el que el costo es más moderado y con las que se obtiene células estables, con unos rendimientos medios cercanos al 8-10%, aunque en laboratorio se alcanza el 15%. Uno de los problemas que presenta la producción a gran escala es que el cadmio contenido en las células es tóxico y puede causar problemas medioambientales si no es correctamente utilizado y reciclado. Otras tecnologías de lámina delgada incluyen lámina delgada de silicio multi-cristalino y celdas de seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio.

## **8.3 ESTRUCTURA DE CELDAS**

Una celda solar típica está compuesta de capas. Primero hay una capa de contacto posterior que se logra evaporando o pintando con metal la plancha y que suele cubrirla totalmente, luego van las dos capas de silicio (que crean la unión p-n). En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de anti-reflexión, que da a la celda solar su tipo color azul o negro, estos forman solamente un patrón en forma de rejilla o de líneas finas de metal, ya que de otra manera el metal impediría que la radiación solar llegara al silicio y no habría ninguna respuesta a los fotones de la luz incidente. Ambos lados de una célula solar están eléctricamente conectados por un cable. Una corriente fluirá en el momento en que el fotón es absorbido. La célula solar genera, entonces, electricidad, que puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en una batería.

Una típica célula fotovoltaica de silicio mono-cristalino de  $100\text{ cm}^2$  producirá cerca de 1.5 vatios de energía a 0.5 voltios de CC y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano ( $1.000\text{ W/m}^2$ ). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol (por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad). Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño; y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y el tamaño. Para comparar diversas celdas se les clasifica por la densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

La potencia entregada por una célula solar se puede aumentar por bastante eficacia empleando un mecanismo de seguimiento para mantener el dispositivo fotovoltaico directamente frente al sol, o concentrando la luz del sol usando lentes o espejos. Sin embargo, a límites a este proceso, debido a la complejidad de los mecanismos, y de la necesidad de refrescar las celdas. La corriente es relativamente estable a altas temperaturas, pero el voltaje se reduce, conduciendo a una caída de potencia a causa del aumento de la temperatura de la célula.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

## **9. PANELES**

### **9.1 EL PANEL FOTOVOLTAICO**

Los módulos o paneles solares son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico, y su misión es captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica. Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica ya que proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales. Son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y carecen de soporte mecánico; por eso, una vez fabricadas, deben ser ensambladas de la manera adecuada para constituir una estructura única, rígida y hermética. En el conjunto del panel FV, las celdas o células solares deben ser iguales. Están conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado.

#### **9.1.1 Estructura de los paneles solares**

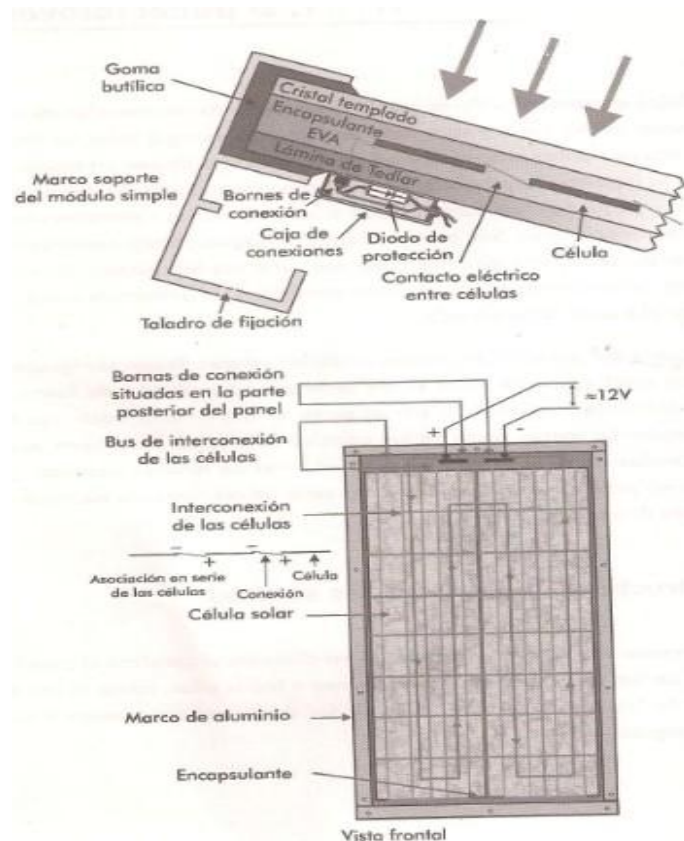
Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel FV. Sin embargo, ciertas características son comunes a los dos ellos, como el uso de una estructura de “sándwich”, donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos. Los paneles solares estos formados por los siguientes elementos: cubierta frontal, material encapsulado, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior, y marco metálico. Otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y sensores. La cubierta frontal sirve para proteger las células contra las inclemencias del tiempo o contra impactos. Es de vidrio templado de 3-4 mm de espesor, y al que se le ha dado una textura que minimiza la reflexión de la luz y favorece la transmisión hacia el material semiconductor; transparente y con un bajo contenido en sales de hierro, que alcanza transmisiones de hasta el 91%. También los hay de materiales orgánicos y plásticos de alta resistencia.

El material encapsulante se encuentra entre el vidrio y las células; también las recubre por la parte posterior. Como material encapsulante se emplea un copolímero denominado EVA (etileno-vinil-acetato). Se trata de un material que tiene un índice de refracción próximo al del vidrio, lo que evita las pérdidas que se producirían al pasar la radiación de la cubierta al aire entre ésta y la célula. Actúa de protección, no solamente impidiendo la entrada de agua, polvo y la concentración de humedad, sino además es un material que tiene cierta



plasticidad, lo que le permite absorber las tensiones producidas por golpes y las dilataciones diferenciales que puedan producirse. No se degrada fácilmente, sólo cuando se le somete a elevadas temperaturas y niveles de iluminación elevados, aunque se está investigando la utilización de aditivos que eviten este proceso. Los paneles que usan laminas plásticas en la superficie colectora suelen perder hasta un 20% del valor inicial de transmisividad después de muchos años de uso (aprox. 20), mientras que los que usan vidrio templado pierden sólo un 5%, ya que este material resiste mejor la acción deterioro de los rayos ultravioletas.

Figura 17. Componentes de un panel fotovoltaico



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

La cubierta posterior sirve de protección y cerramiento al módulo, fundamentalmente contra los agentes atmosféricos, ejerciendo una barrera infranqueable contra la humedad. Está formada por varias capas de un aislante eléctrico llamado Tedlar que, al ser opacas y de color blanco, reflejan la luz que ha logrado pasar por las células, haciendo que vuelva a la parte frontal, donde puede ser reflejada e incidir de nuevo en las células. También existen módulos con una

capa de Tedlar y un segundo vidrio. En otros casos la cubierta posterior puede ser metálica (aluminio), con lo que mejora la disipación de calor al exterior, lo cual es un factor muy importante para determinar la potencia de salida de un panel FV.

## **9.2 CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS**

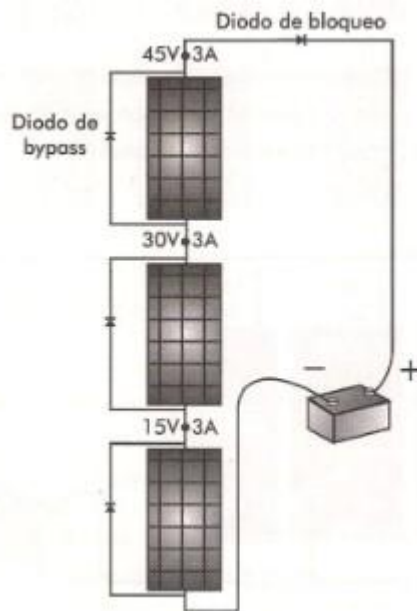
Como las células individuales tienen valores de tensión de unos 0,5V una corriente de unos dos amperios. Para obtener potencias utilizables para aparatos de mediana potencia, hay que unir un cierto número de células y obtener así la tensión y la corriente requeridas para su funcionamiento. Conectando en serie 36 de estas células, se obtienen 18V tensión suficiente para hacer funcionar equipos a 12V, incluso con iluminaciones mucho menores de  $1\text{kW/m}^2$ . Una placa fotovoltaica contiene entre 20 y 40 células solares; que como hemos dicho, se conectan entre sí en serie y/o paralelo para obtener el voltaje deseado (12 V, 14 V, etc.). Normalmente, los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12 V. Esto es así porque la industria de baterías precedió a la de los sistemas FV, de manera que la adopción de 12 V para el voltaje de salida del panel era una opción práctica. Por otra parte este valor no requiere la conexión de un número excesivo de células en serie. En principio, se necesitaría conectar un mínimo de 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12V.

Un conjunto de módulos conectados entre ellos junto con el cableado, y (en su caso) los soportes de la instalación constituyen un generador fotovoltaico. La conexión de módulos fotovoltaicos sigue las reglas básicas de la electricidad. Los módulos se pueden conectar en serie o en paralelo, con la combinación más adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesario para una determinada aplicación. Todos los paneles conectados deben tener las mismas características eléctricas.

### **9.2.1 Conexión en serie**

Este tipo de conexión se basa en conectar el terminal positivo de un módulo con el negativo del siguiente, y así sucesivamente hasta completar la serie. Los terminales del grupo generador estarán en el terminal positivo del último módulo conectado y el negativo del primero. Cuando los paneles se conectan en serie la tensión resultante es la suma de la de todos los paneles, mientras que la intensidad será la proporcionada por uno solo de ellos. Si falla uno de los paneles conectados en serie, puede hacer que el conjunto deje de funcionar. Para evitar que esto suceda, los diodos de bloqueo “puentean” ese módulo, haciendo que la corriente siga su camino. Normalmente se conectan módulos en serie para conseguir voltajes de 24 ó 48V, en instalaciones autónomas de electrificación, y superiores, 96 a 144V, en instalaciones conectadas a la red o de alimentación para bombeos directos. Hay que recordar que el voltaje de un módulo fotovoltaico, cuando funciona en el punto de máxima potencia, puede llegar a ser 1,4 veces el voltaje nominal.

Figura 18. Conexión en serie de paneles fotovoltaicos



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

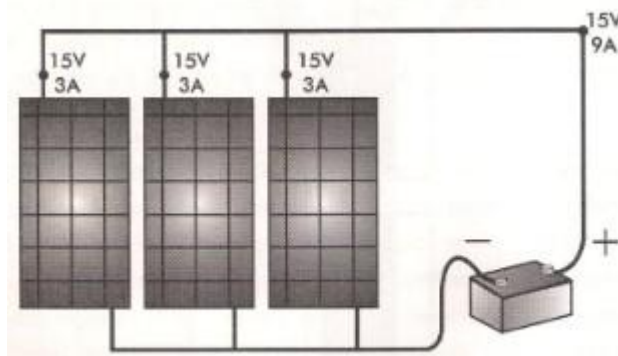
### 9.2.2 Conexión en paralelo

Este tipo de conexión consiste en conectar por un lado los terminales positivos de todos los paneles, y por otro, todos los terminales negativos. La salida del grupo generador la forman el terminal positivo común y el terminal negativo, también común. Cuando los módulos se conectan en paralelo, la tensión coincidirá con la que proporcione un solo módulo, pero la intensidad será la suma de las intensidades de todos los módulos, de manera que el aumento de potencia se basa en mantener la potencia que puede dar un módulo y la suma de intensidades que proporcionen los módulos conectados. Normalmente se hacen conexiones en paralelo para conseguir intensidades de 20 ó 25<sup>a</sup>, en instalaciones autónomas de electrificación y/o bombeo, y superiores en instalaciones de conexión a la red de elevada potencia. Hay que recordar que el aumento de intensidad produce un aumento de pérdidas por efecto Joule (calentamiento de los conductores) de forma cuadrática, ya que:

$$p = RI^2$$

Lo que obliga a utilizar conductores de mayor sección para que puedan soportar intensidades elevadas.

Figura19. Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo

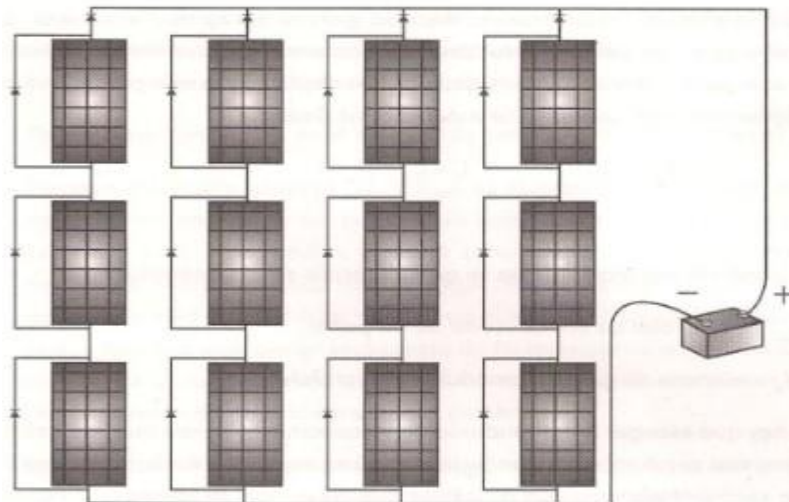


Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008.  
314 p.

### 9.2.3 Conexión mixta

Para satisfacer diferentes necesidades de tensión y voltaje, los módulos pueden combinarse en agrupaciones serie-paralelo.

Figura 20. Conexión mixta de paneles fotovoltaicos



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008.  
314 p.

### 9.3 ENCONTRAR LA CONFIGURACIÓN CORRECTA

A menudo, se encuentra ante el dilema de a qué voltaje hay que diseñar una instalación (12, 24 ó 48V). Aunque esta pregunta no tiene una respuesta clara y contundente, podría enfocarse desde dos puntos de vista diferentes:

- Desde el punto de vista del rendimiento: es decir, el que procura minimizar las pérdidas de energía por calentamiento de los conductores y/o de los equipos de regulación. Según este criterio, tendría que diseñar las instalaciones a 48V, ya que cuanto mayor voltaje se tenga, menor es la intensidad para un valor de potencia constante. El problema de trabajar a esta tensión es que el sistema de baterías que debe emplearse encarece la instalación.
- Desde el punto de vista económico: es decir, el que procura el mínimo costo de la instalación. Según este criterio, siempre se montarían instalaciones de 12V, con lo que se necesitaría una batería pequeña, pero a costa de tener elevadas intensidades de paso en los conductores y controladores, a medida que aumenta la potencia de la instalación.

Una vez analizados estos planteamientos, parece apropiado encontrar algún parámetro que permita relacionar la economía y el rendimiento. Normalmente este parámetro es la intensidad que se calcula que puede producir el generador fotovoltaico (el conjunto de módulos instalados).

Dónde:

$$I_T = I_{CC} \cdot N_P$$

$I_T$  = intensidad máxima que se espera recibir en el generador solar.

$I_{CC}$  = intensidad de cortocircuito de un panel.

$N_P$  = número de grupos o módulos en paralelo.

Como se debe escoger entre rendimiento y economía, siempre que sea posible se trabajara con conductores estandarizados y con reguladores de baja intensidad, para lo cual se trabajará con el voltaje más bajo posible, siempre y cuando la intensidad máxima no supere demasiado los 50<sup>a</sup>. A partir de este valor, habría que aumentar el voltaje (de 12 a 24V o de 24 a 48V) con tal de mantener la intensidad en niveles bajos.

## 9.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS PANELES

Parámetros eléctricos que definen un módulo fotovoltaico

Los parámetros que definen el comportamiento fotovoltaico del módulo son los siguientes:

- Intensidad de cortocircuito: ( $I_{CC}$  o  $I_{SC}$ ) se mide la corriente entre los bornes de un panel, cuando éstos se cortocircuitan ( $V = 0$ ). La intensidad de cortocircuito de un módulo es igual a la de una de sus células multiplicada por el número de filas conectadas en paralelo. Es la máxima intensidad que se puede obtener de un panel. Experimentalmente se puede medir con un amperímetro (impedancia muy pequeña) conectado a la salida de los bornes del módulo FV. El valor varía de forma proporcional en función de la radiación solar a la cual la célula o el módulo están expuestas.
- Tensión nominal: ( $V_N$ ) es el valor de la tensión a la cual trabaja el panel.
- Tensión a circuito abierto: ( $V_{CA}$  o  $V_{OC}$ ) es el máximo voltaje, que se mediría entre los bornes de un panel si se dejaran los terminales en circuito abierto ( $I = 0$ ). Esta medida se toma conectando un voltímetro entre los bornes del módulo cuando no hay carga conectada entre sus extremos. El valor de la medida puede ser mayor que el voltaje nominal del módulo, por lo que hay que seleccionar una escala de téster superior a los 12 ó 24V. La tensión de circuito abierto de un módulo es la de cada una de sus células por el número de células conectadas en serie.
- Intensidad de potencia máxima ( $I_{Pmáx}$ ): es el valor de la corriente que puede suministrar el panel cuando trabaja a máxima potencia.
- Tensión de potencia máxima ( $V_{Pmáx}$ ): es el valor de la tensión cuando la potencia también es máxima, cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.
- Potencia máxima ( $P_M$ ): es el máximo valor obtenido al multiplicar la intensidad  $I_{Pmáx}$  (Intensidad cuando la potencia es máxima o corriente en el punto de máxima potencia) y  $V_{Pmáx}$  (Tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia). También se le llama Potencia de pico del módulo o panel ( $W_p$ ).

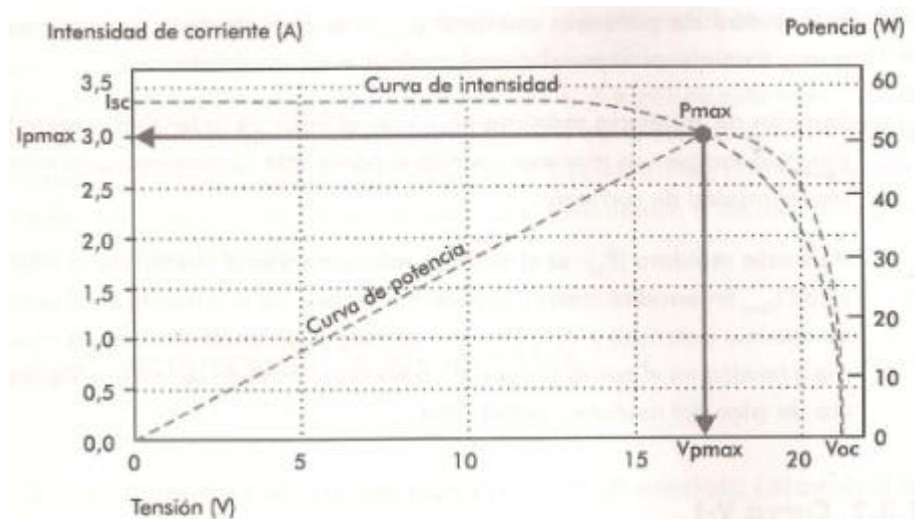
### 9.4.1 Curva V-I

Todo generador tiene una curva típica para la potencia de salida en función de la corriente de carga, y los paneles fotovoltaicos no son una excepción. La curva V-I de un panel FV proporciona, indirectamente, la relación mencionada, ya que asocia los valores de V e I para diferentes cargas. Si se conecta una cierta carga eléctrica al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la

tensión  $V$  existentes en el circuito. Estos habrán de ser menores que los  $I_{CC}$  y  $V_{CA}$  definidos anteriormente. La potencia ( $P$ ) que el panel entrega a la carga está determinado por  $P = I V$ .

La potencia disponible en un panel fotovoltaico en un punto cualquiera de la curva se expresó en vatios. El cortocircuito se produce en un punto de la curva donde el voltaje es cero. En el punto de cortocircuito, la potencia de salida es cero, ya que el voltaje es cero. El circuito abierto se produce cuando la corriente es cero. En el punto de circuito abierto la potencia de salida también es cero, pero ahora es porque la corriente es cero. La intensidad, en amperios, se representa en el eje vertical (eje Y) y la tensión, en voltios, en el horizontal (eje X).

Figura 20. Curva V-I



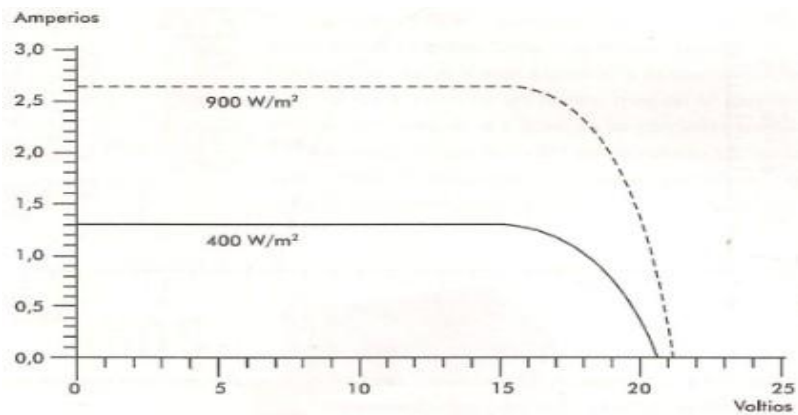
Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

Las características del panel, están definidas para las condiciones estándar de medio (CEM: 1 kW/m<sup>2</sup>, 25 °C, A.M. 1,5).

#### 9.4.2 Curva V-I en función de la irradiación

El comportamiento eléctrico de un módulo varía además con la irradiación solar. La corriente proporcionada por un módulo fotovoltaico es directamente proporcional a la energía solar recibida. La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje más o menos constante, por lo tanto, habrá aumento de potencia.

Figura 21. Curva V-I en función de irradiación



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

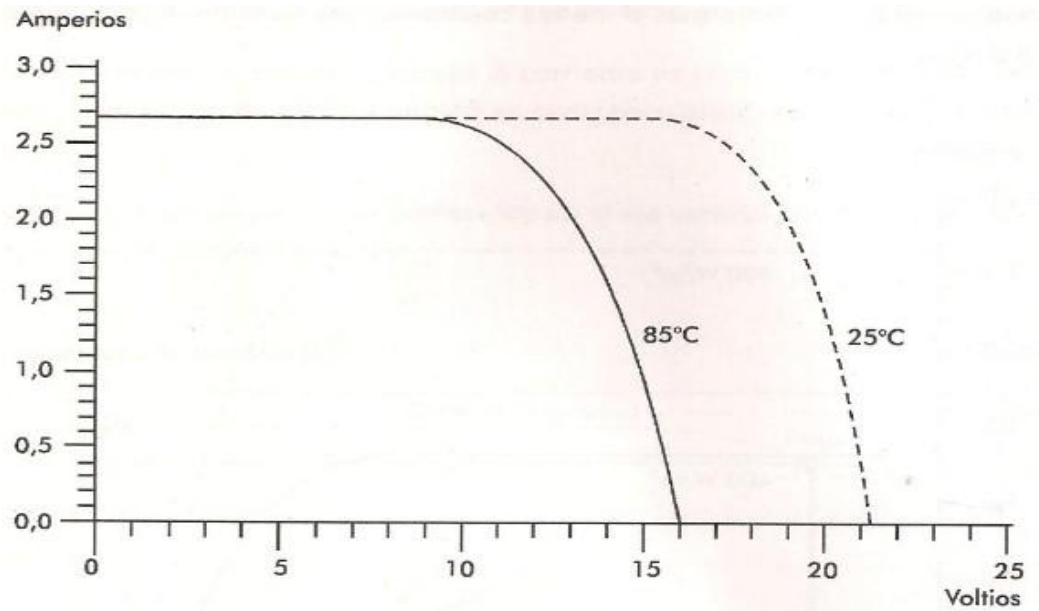
#### 9.4.3 Curva V-I en función de la temperatura

La exposición al sol de las células provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados cambios en la producción de electricidad; así, la tensión generada varía de forma inversamente proporcional a la temperatura de las células, sin que esto provoque cambios en la corriente de salida. Altas temperaturas en el módulo reducen el voltaje de 0,04 a 0,1 voltios por cada grado centígrado que sube la temperatura. Por esta razón, los paneles FV no deberían ser instalados directamente sobre una superficie, sino que debe permitirse al aire circular por detrás de cada módulo para que su temperatura no suba. Es necesario un espacio de unos 10 cm para proporcionar una ventilación adecuada. La temperatura de las células es superior a la temperatura ambiente, por el calentamiento a la que la somete la radiación solar.

La radiación y la temperatura ambiente experimentan además otro tipo de variación debidos a factores diurnos y estacionales.



Figura 22. Curva V-I en función de la temperatura.



Fuente: SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.

## 10. BATERÍAS

Las baterías, también llamadas acumuladores, son dispositivos que almacenan energía eléctrica. En los sistemas fotovoltaicos autónomos o independientes cumplen con varias funciones, principalmente sirven para almacenar la energía eléctrica para su uso por la noche cuando no se tiene sol para conducir energía fotovoltaica, de manera que permite la operación de las cargas durante los periodos de poco sol, para estabilizar el voltaje del sistema y absorber transitorios.

El uso de las baterías tiene algunas desventajas, de hecho es preferible en ciertos casos no utilizarlas cuando se pueda acoplar la carga directamente al arreglo fotovoltaico y cuando no se requiere almacenamiento. Las baterías aumentan el costo del sistema, incrementan también el requerimiento de mantenimiento; disminuyen el rendimiento del sistema debido a la pérdida de capacidad.

Una batería se define como un dispositivo que almacena energía y que convierte la energía almacenada en energía eléctrica por medio de una reacción química. Las baterías se pueden clasificar celdas primarias y celdas secundarias.

Una celda primaria se emplea con la intención de ser usada una sola vez. La reacción dentro de la celda ocurre así, después de lo cual se debe desechar, ejemplo de este tipo de celdas son: las de carbón-zinc, las baterías alcalinas y de litio; este hace que las baterías primarias no sean usadas en los sistemas fotovoltaicos, y como la carga y recarga está obligada todos los días, la única opción son las baterías recargables para los sistemas fotovoltaicos.

La celda secundaria almacena energía eléctrica en una reacción química reversible, permitiendo a la batería producir corriente en forma repetida; sin embargo el proceso de inversión no se da al 100%, ya que hay cierta pérdida de energía debido al calentamiento y diferencia de voltaje, ejemplo de este tipo de batería son:

- Níquel – Cadmio (Ni – Cad).
- Plomo – Acido.
- Níquel – Fierro.

La mayoría de sistemas fotovoltaicos usan batería Plomo–Acido, tales como Plomo–Calcio o baterías Plomo–antimonio.

### 10.1 BATERÍAS PLOMO–ACIDO

La batería Plomo–Acido está construida de dos placas denominadas placa de plomo (negativa) y placa de plomo cubierta con dióxido de plomo (placa positiva) con 35% de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y 65% de solución de agua. Esta solución se le conoce como el electrolito y ocasiona una reacción química que produce

electrones. En el estado totalmente cargado, la solución de ácido está concentrada y su gravedad específica es de alrededor de 1.260 a 1.285. Cuando la batería está en uso (descargando el  $\text{SO}_4$  el electrolito se combina con el dióxido de plomo sobre la placa positiva para formar  $\text{PbSO}_4$ , esta reacción diluye el ácido, y si este, en la forma diluida, se deja por un periodo de tiempo largo, reaccionará con la placa negativa y formará una capa dura de sulfato sobre la misma, lo que hace que la recarga se dificulte. Esta reacción, que ocurre en el proceso de recarga de la celda, se puede invertir y restaurar así la carga, aplicando corriente directa en la dirección opuesta al flujo de corriente en la carga.

## **10.2 BATERÍAS DE PLOMO ACIDO CON VÁLVULA REGULADA**

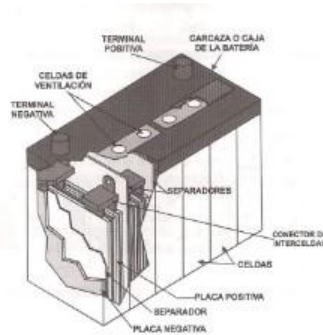
Estas baterías son la variación de las baterías de Plomo–Acido que operan con un electrolito que se tiende a morir en los cuales la cantidad de electrolito está limitada a una cantidad que puede ser absorbida por las placas o humedece las fibras en el separador. En el sistema resultante el electrolito está inmovilizado y los gases producidos durante la sobrecarga se combinan para formar agua dentro de la batería, estas baterías están selladas y no se requiere agregar agua. Para prevenir la caja de batería de una ruptura por una sobrecarga se usa una válvula que mantiene a la batería con una presión baja, la principal desventaja de estas baterías es su ciclo de vida bajo.

## **10.3 BATERÍAS TIPO GEL**

En este tipo de celda, se forma una delgada capa de gel mezclando el electrolito con un agente gelicida (como el Fluoruro de Silica) tienen la ventaja de estar completamente sellado y pueden operar en cualquier posición, aun de lado o boca arriba, y no tiene fuga de ácido o gas. La desventaja de estas baterías es que no pueden tolerar altos índices de recargas o de carga por periodos prolongados, aunque su placas delgadas permiten altos índices de tiempo corto.

Las baterías tipo gel son muy robustas y pueden tomar más calor y carga que las baterías Plomo–Acido. Para su uso en sistemas fotovoltaicos son prácticamente hechas al tamaño, más caras comparadas con las de Plomo–Acido, pero más fácilmente transportables.

Figura 23. Componentes comunes de las baterías

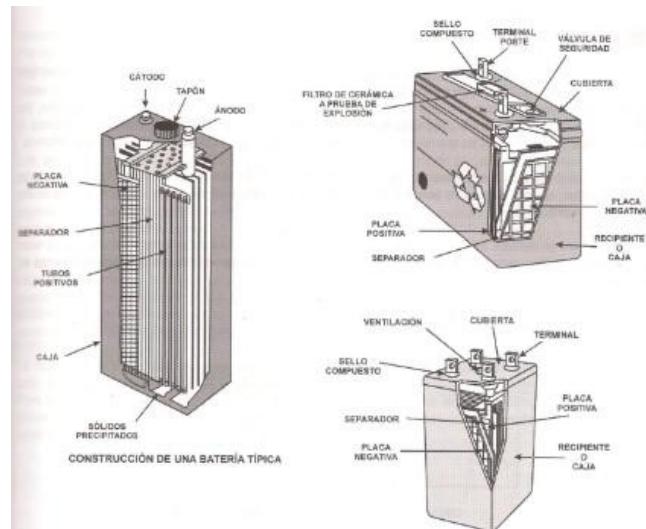


HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

#### 10.4 CELDAS

Las baterías están formadas por celdas electroquímicas como se muestra en las siguientes figuras, cada celda está formada por placas positivas y negativas que se encuentran inversas en un electrolito. Las celdas de Plomo-Acido son las más comunes y se usan ampliamente en los sistemas fotovoltaicos pequeños por razones de costo principalmente.

Figura 24. Construcción de una batería típica



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

## 10.5 BATERÍAS DE CICLO SOLAR PROFUNDO

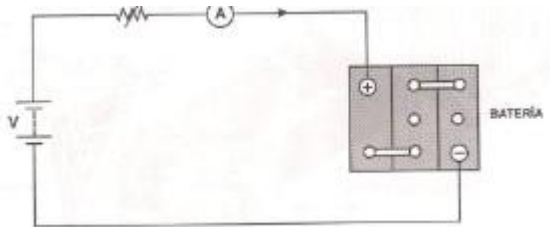
Este tipo de baterías están diseñadas especialmente para los sistemas fotovoltaicos con mayores índices de carga/descarga, su electrolito puede ser líquido o tipo gel, tiene placas grandes y delgadas con cajas transparentes para su inspección. Pueden soportar ciclos profundos de descarga y sobrevivir cientos aún miles del 80% en ciclos de descarga.

### 10.5.1 Tipos de baterías

Las baterías de ciclo profundo tienen placas gruesas y están diseñadas para descargarse en forma repetitiva por horas sin sufrir daños significativos, en cambio las llamadas baterías de arranque tienen placas más frágiles y están diseñadas para entregar corriente de valor elevado solo por pocos segundos. Para los sistemas fotovoltaicos, las baterías de ciclo profundo son las más apropiadas, particularmente cuando se trata de sistemas autónomos o independientes, ya que solo son las que resisten las descargas profundas que se presentan en sistemas autónomos.

Las de Plomo–Acido pueden ser de electrolito líquido o electrolito cautivo, las baterías de electrolito líquido son por lo general abiertas, es decir, que se les puede agregar agua, son más robustas y de mayor duración cuando se les agrega agua periódicamente. Están disponibles en distintos tamaños, usualmente 6 y 12 V. se pueden conectar en serie o paralelo según sea sean los requerimientos. Para mejores resultados y tiempo de vida más largo, se recomienda que este tipo de baterías se descarguen en 50% de su capacidad.

Figura 25. Circuito de carga de una batería



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

## 10.6 CAPACIDAD DE LA BATERÍA

Dependiendo de los requerimientos de energía y la cantidad de capacidad de reserva requerida para un sistema en particular, se selecciona una batería apropiada con una cierta capacidad. La capacidad de almacenamiento se define como la cantidad de corriente que una batería podrá entregar por número dado de horas a su voltaje normal y a una temperatura de 25 °C. Generalmente se designa en amperios-hora (Ah), y es el producto de la corriente en amperios y el tipo de horas. Por ejemplo, la capacidad de una batería en la cual 1ª de corriente está circulando por 100h, es la misma que la batería con 10ª de corriente que circula por 10 horas.

### 10.6.1 Capacidad de una batería en amperios–hora (Ah)

Los amperios-hora totales que una batería es capaz de entregar empezando por el estado totalmente cargado y terminado; cuando está completamente descargado se le llama la capacidad Ah, debido a que es prácticamente imposible para las baterías Plomo–Acido estar completamente descargadas el fabricante usualmente especifica un voltaje elevado mínimo de celda, el cual está basado sobre la condición de completamente descargados para prevenir un daño en la batería.

La capacidad está generalmente como un índice de “20 horas” de la batería, por lo tanto, el número dado como la capacidad en amperios-hora para un ciclo profundo de la batería, es el número de amperios-hora que la batería puede dar para un periodo de 20 horas a una demanda constante. Una batería de 105 A-h puede entregar  $105^a\text{-h}/20\text{h} = 5,25^a$  constantemente por un periodo de 20 h, antes que su voltaje caiga debajo de 10.5 Volts. Que es el punto en el cual la batería esta descargada.

La capacidad de las baterías se fija en términos Ah e índice de descarga, la capacidad de la batería está por lo tanto en términos del número Ah que puede entregar por un cierto número de horas, en forma típica 100, 20 ó 5. Para la capacidad se usa la letra C, por lo que las capacidades anteriores se definen como C100, C20, y C5. El índice de descarga se afecta también por el cambio en la temperatura, con una baja en esta, la capacidad de la celda baja.

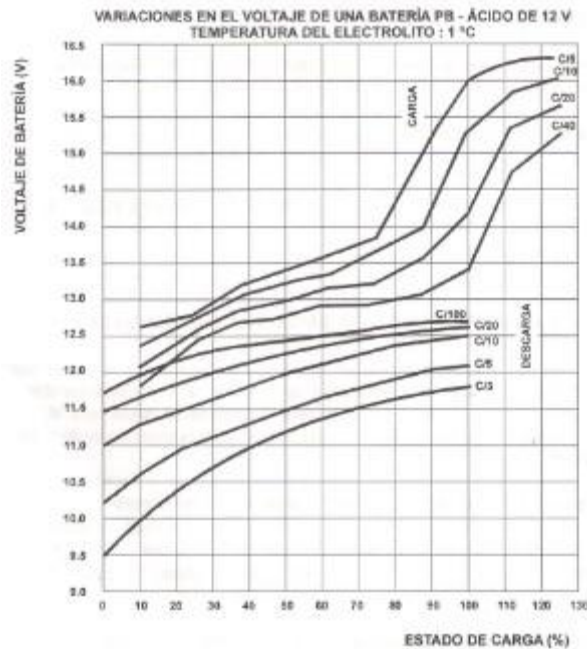
Se requiere también la capacidad disponible en cualquier instante, hay dos formas de estimarla: la cantidad de carga remanente estado de carga (EDC) y la cantidad que está siendo usada profundidad de carga (PDD), y se mide con un porcentaje de la capacidad total en Ah

$$\text{EDC} = (\text{capacidad en Ah} - \text{capacidad usada en Ah}) / \text{capacidad en Ah}.$$

$$\text{PDD} = \text{Ah usados} / \text{capacidad en Ah}.$$

$$\text{Capacidad en Ah} = \text{PDD} + \text{EDC}.$$

Figura 26. Variaciones de voltaje en una batería PB- Ácido



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

Hay varios métodos para medir EDC, uno es que se puede estimar a partir de la gravedad específica, voltaje de circuito abierto, voltajes de carga y descarga y del flujo neto de Ah. La capacidad nominal de una batería se refiere a la capacidad de almacenamiento de energía, y como se ha mencionado, se expresa en amperios-hora (A-h). Como lo indican las unidades la capacidad está relacionada con la corriente  $I$  en amperios y el tiempo  $t$  en horas de acuerdo con la siguiente expresión:

Capacidad en (A-h) =  $I$  (corriente en amperios) \*  $t$  (en horas).

Por ejemplo, una batería de 100 A-h nueva y completamente cargada es capaz de entregar una corriente de 20 A durante 5 horas hasta quedar completamente descargada. En la realidad, la temperatura y el régimen de descarga afectan la capacidad que puede entregar la batería. Las baterías de ciclo pronto verdaderas deben especificar su capacidad en A-h.

El régimen de descarga es la corriente en amperios que sale de la batería en un momento dado. El régimen de carga es la corriente que entra en la batería en un momento dado. Se acostumbra expresar el régimen de corriente con respecto a la capacidad nominal de la batería, usando la relación:

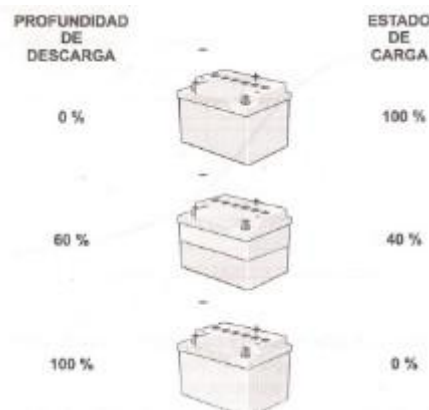
$I$  (corriente en A) =  $C$  (capacidad en A-h) /  $t$  (tiempo en horas).

Por ejemplo, si una batería de 100 A-h de capacidad nominal está entregando 5 A, se dice que su régimen de descarga es “C/20”, en otras palabras, entregaría su capacidad nominal en 5 h.

## 10.7 ESTADO DE CARGA Y PROFUNDIDAD DE DESCARGA

El estado de carga de una batería es la capacidad o los amperios- horas remanentes y se expresa como porcentaje de la capacidad nominal, por ejemplo, si una batería de 200 A-h tiene 150 h remanentes, es decir, que se han extraído 50 A-h, se dice que su estado de carga es del 75%. Al porcentaje de la capacidad nominal extraído se conoce como profundidad de descarga, para el ejemplo anterior la profundidad de descarga es 25%. Estos conceptos se ilustran en la siguiente figura:

Figura 27. Estado de carga y profundidad de descarga



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

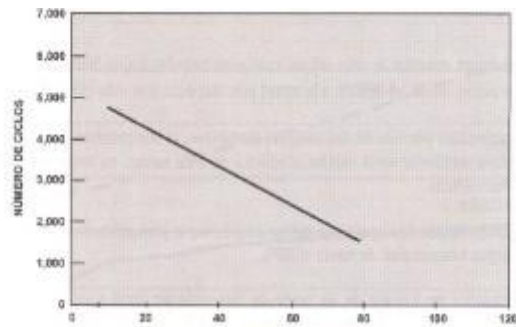
### 10.7.1 Ciclos de vida

El proceso de cargar una batería y descargarla parcialmente corresponde a lo que se conoce como un ciclo. La vida útil de las baterías de ciclo profundo se expresa en ciclos de vida a cierta temperatura y profundidad de descarga. Una batería de ciclo profundo tiene unas especificaciones típicas de 1500 ciclos de vida a una profundidad de descarga promedio de 50% y una temperatura de 5°C. En los sistemas fotovoltaicos independientes, un ciclo de la batería ocurre aproximadamente una vez por día, de manera que la vida útil típica de una batería de ciclo profundo es de 3 a 5 años, por otra parte, en condiciones típicas de uso, las baterías de arranque tienen una duración de 6 a 18 meses. La capacidad de almacenamiento disminuye con el tiempo de uso, por lo general reconsidera que una satisfaga los requisitos de almacenamiento de sistema. La disminución de la



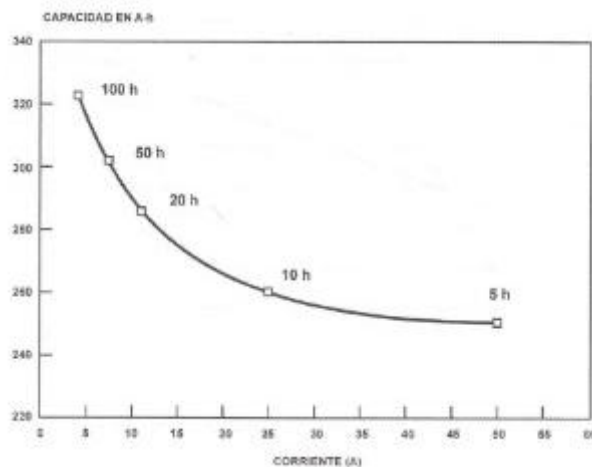
capacidad puede ser tan leve como el 5% anual o tan severa como un 50% anual, dependiendo de varios factores externos.

Figura 28. Profundidad de descarga promedio diario



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

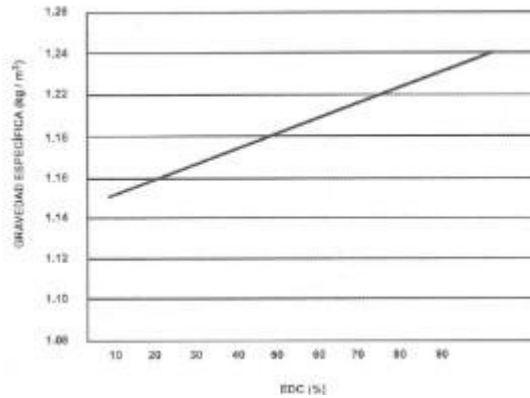
Figura 29. Variación de la capacidad del régimen de descarga con temperatura constante



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

## 10.8 EFECTO DE LA VELOCIDAD DE DESCARGA SOBRE LA CAPACIDAD DE LA BATERÍA

Figura 30. Gravedad específica contra estado de carga



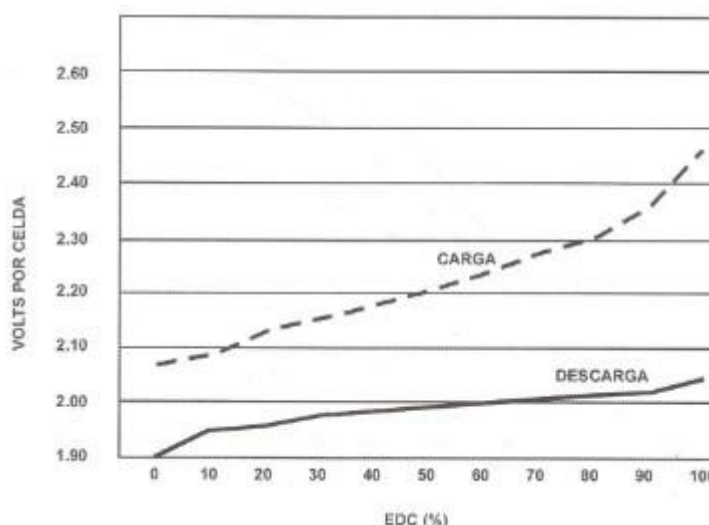
HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

La temperatura afecta en forma drástica la vida útil de cualquier batería, a una temperatura promedio de 35°C la vida útil de una batería Plomo Acido se reduce a la mitad con respecto a la vida útil a 25°C.

A temperatura baja la capacidad efectiva de las baterías disminuye, la temperatura óptima de operación está entre 20 y 25°C, si la temperatura ambiente varía mucho alrededor de este rango, es recomendable instalar las baterías bajo tierra en recipientes herméticos.

Las baterías de ciclo profundo se pueden operar en forma económica a profundidades de descarga diaria hasta el 50% y pueden resistir descargas ocasionales de hasta el 80%. La capacidad de un acumulador en función de su modo de descarga es débil y, por lo tanto, difícil de prevenir su comportamiento durante la descarga del acumulador solar de una manera general debido a que las corrientes descargan varían. Se deben considerar que en la mayor parte de las aplicaciones las corrientes de descarga son bajas.

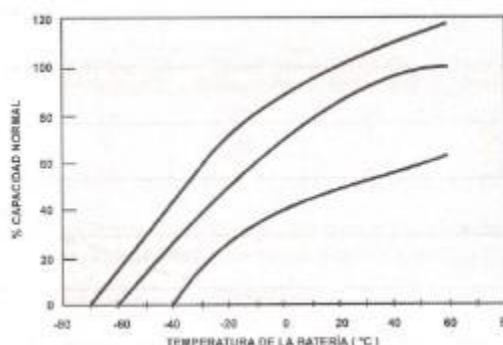
Figura 31. Voltaje por celda Vs %EDC



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

Un ciclo ideal de la batería en sistemas fotovoltaicos pequeños se muestra en la siguiente figura, el estado de carga baja hasta 60-85% y se recupera enseguida hasta 90-95%. Es importante que las baterías se recarguen diario para que alcance un elevado estado de carga antes de que se descargue.

Figura 32. Efecto de la temperatura sobre la capacidad de la batería

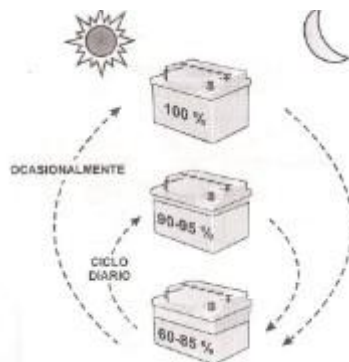


HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

Si las baterías operan en un rango de estado de carga baja, su vida útil disminuye en forma considerable. Es buena práctica asegurarse que las baterías se recuperen completamente por lo menos una vez al mes, esto requiere una reducción o anulación de las cargas por uno o más días. La falta de uso de las baterías por un periodo de tiempo prolongado puede ser también un problema.

Otros datos útiles para una batería, que se deben conocer para su especificación son: el voltaje de circuito abierto y la eficiencia de la batería.

Figura 33. Ciclo típico de una batería en sistemas fotovoltaicos independientes



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

## 10.9 EL VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO

La medición del voltaje de la batería durante la carga y descarga no da un valor preciso del voltaje en la misma. El voltaje de circuito abierto de la batería está definido como el voltaje cuando esta desconectada de la corriente de carga y la carga, este voltaje se mide por un periodo de 15 a 20 minutos durante el cual la batería esta desconectada. Este voltaje de circuito abierto tiene un valor estable y proporcional al estado de carga (EDC), por lo tanto, se puede usar para determinar el EDC; para medir este voltaje de circuito abierto se debe usar un voltímetro digital, ya que los analógicos no son suficientemente precisos.

Una batería totalmente cargada tiene un voltaje de circuito abierto de 12.6 Volts, y por otro lado, una batería totalmente muerta tiene un voltaje de circuito abierto menor 12.0 Volts.

La estimación del estado de carga del flujo neto de Ah se puede llevar a cabo monitoreando los Ah de carga en la batería y Ah de descarga fuera de la batería por un periodo de 20 a 30 días. Los Ah netos (carga menos descarga) permiten determinar el cambio neto del estado de descarga (EDC) para el mismo periodo de tiempo.

## **10.10 CICLO DE VIDA DE UNA BATERÍA**

El ciclo de vida de una batería es inversamente proporcional a la profundidad de descarga la cual reduce la vida de la batería. La profundidad es diferente para los distintos tipos de batería, por ejemplo, la batería tipo gel tienen un ciclo de vida de alrededor de 2900 (8 años), en tanto que las baterías de Plomo-Calcio tienen un ciclo de alrededor de 300 (0.8 años) al 40% de profundidad de descarga.

## **10.11 EFICIENCIA DE LA BATERÍA**

Hay una cierta pérdida de energía en las baterías debido a varias razones: a la diferencia en voltajes durante la carga y descarga, calentamiento, producción de gases y debido a la pérdida de carga para un periodo de tiempo. Hay dos tipos de eficiencias definidas para la batería:

- Eficiencia en amperios-hora.
- Eficiencia en watts-hora.

### **10.11.1 La eficiencia en amperios hora**

La eficiencia en Ah se define como la relación entre los Ah entregados por la batería durante la descarga y los Ah suministrados a la batería durante la carga.

$$\text{Eficiencia en Ah} = \text{Ah de salida} / \text{Ah entrada}$$

### **10.11.2 La eficiencia en watt-hora.**

La eficiencia en watts-hora es la medición real de la eficiencia de la batería porque toma en cuenta el potencial eléctrico al cual la corriente esté circulando, es la relación del número de watts-hora entregado por la batería al número de watts-hora que entran a la misma. Debido a la diferencia entre los voltajes de carga y descarga la eficiencia en Wh es menor que la eficiencia en Ah. Las baterías de níquel cadmio tienen eficiencia del 65% y las de plomo ácido con válvula regulada del 85%.

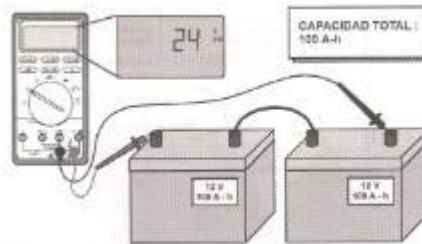
## **10.12 CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO DE BATERÍAS**

El voltaje requerido y la capacidad se pueden lograr conectando las celdas individuales en serie (para incrementar voltaje) o paralelo (para incrementar capacidad en Ah). El banco de baterías formado consiste ya sea de celdas sencillas (2V) o bloques (6V) y el voltaje del sistema es generalmente 24V ó 48V.

### 10.12.1 Conexión en serie

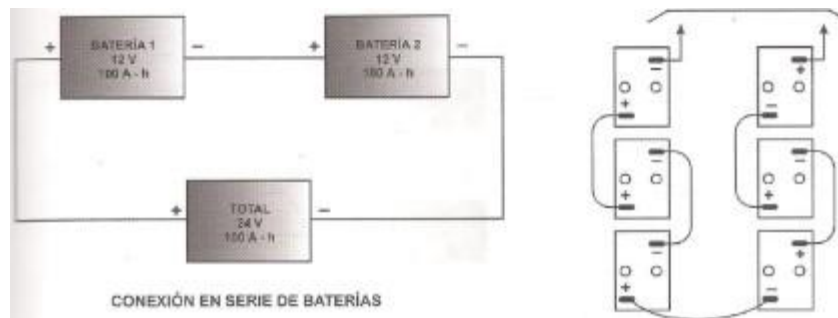
La conexión en serie de baterías se hace conectando la terminal positiva de una batería a la negativa de la otra, y así sucesivamente. Si se conectan dos baterías de 12 V con una capacidad de 100 Ah cada una, se tiene un voltaje total de 24 V, con la misma capacidad de 100 Ah. La desventaja de la conexión serie es que si una de las celdas tiene falla, entonces el banco completo puede fallar también, para prevenir esto, se debe monitorear el banco en forma muy cercana.

Figura 34. Conectando las baterías en serie se aumenta el voltaje



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

Figura 35. Conexión en serie de baterías



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

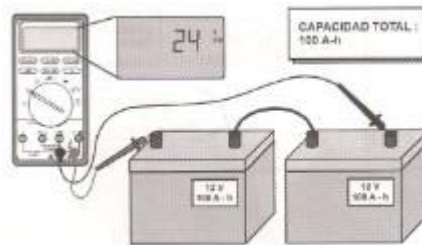
### 10.12.2 Conexión en paralelo

La conexión en paralelo de baterías se hace conectando la terminal positiva de una batería con la positiva de otra, y lo mismo con las terminales negativas (se conectan negativa con negativa). Si se conectan dos baterías de 12V con capacidad de 100 Ah cada una, se tiene como resultado el mismo voltaje (12 V) en la conexión paralelo, pero con una capacidad de 200 Ah, es decir, que la capacidad en Ah se suma en la conexión paralelo.

De igual manera, si se conectan en paralelo dos baterías de 6V cada una, con una capacidad de 300 A-h el resultado total de la conexión es un arreglo de 6 V con

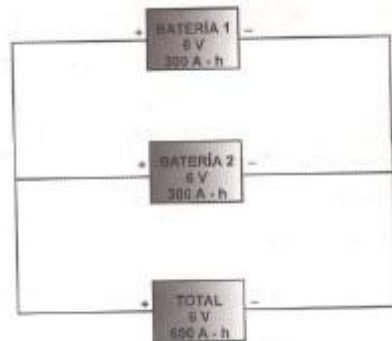
una capacidad de  $300 \text{ Ah} + 300 \text{ Ah} = 600 \text{ Ah}$ . Esto se muestra en la siguiente figura, con una representación esquemática.

Figura 36. Conectando las baterías en paralelo se incrementa la corriente del sistema



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

Figura 37. Conexión en paralelo de baterías

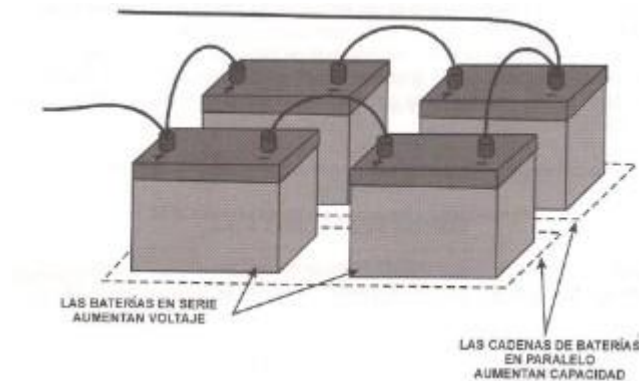


HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

### 10.12.3 Conexión serie-paralelo de baterías

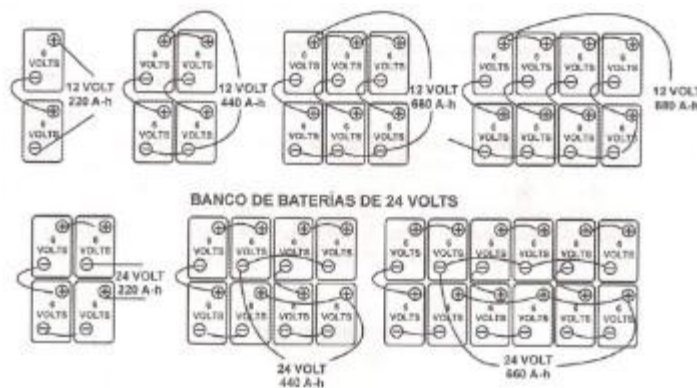
La conexión serie-paralelo de baterías es la más común en las aplicaciones de sistemas eléctricos fotovoltaicos, combina las características de ambos tipos de conexión, de manera que se puede lograr el voltaje deseado (V) y la capacidad requerida (Ah), para esto, se forman cadenas en serie de baterías que se conectan en paralelo, en forma similar a los arreglos que se hacen con las celdas fotovoltaicas.

Figura 38. Configuración de banco de baterías



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

Figura 39. Banco de baterías 12V configuración serie-paralelo



HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.

### 10.13 CARACTERÍSTICAS DE RECARGA Y DESCARGA

Los voltajes de una batería varían de acuerdo con el régimen de descarga y de recarga (la temperatura de la batería también afecta los voltajes a razón de aproximadamente 0.03 V de aumento por cada grado centígrado por encima de 25 °C), esto significa que una medición directa del voltaje con la batería en operación no es una indicación confiable del estado de carga. Se puede obtener una estimación más confiable midiendo el voltaje de la batería después de algunas horas de reposo (estando desconectada de todas las cargas y del regulador). Otra forma de estimar el estado de carga es midiendo la gravedad específica del electrolito con un aparato conocido como hidrómetro. Para llevar a cabo esto con cierta confiabilidad, es necesario tener información precisa del tipo de batería y la concentración de electrolito.



Una batería plomo-ácido completamente cargada debe tener un voltaje de reposo de aproximadamente 12.6V, sin embargo, para completar la recarga es necesario aplicar un voltaje mayor. En los sistemas fotovoltaicos pequeños se requiere un voltaje cercano a 14.4 V para que la batería se cargue completamente. Las baterías libres de mantenimiento no se deben mantener a este nivel de voltaje por largo tiempo.

#### **10.13.1 Igualación**

Para baterías de plomo-ácido inundadas y abiertas, solamente es recomendable aplicar de vez en cuando una recarga de igualación para mantener las celdas en buen estado, si las baterías muestran síntomas de bajo rendimiento, es posible que una carga de igualación ayude a recuperar parte de la capacidad perdida. La igualación consiste en recargar las baterías por encima del llamado voltaje de gaseo durante 3 ó 4 horas consecutivas, para esto se recomienda seguir las instrucciones del fabricante y sin el apoyo de una fuente como la red de alimentación o un motor-generador se puede tener un periodo de interrupción de dos o más días.

#### **10.13.2 Cargador de batería**

Los cargadores de baterías se usan en sistemas fotovoltaicos aislados para convertir C.A. y C.D. para cargar las baterías de acuerdo a los requerimientos de corriente y voltaje. Los principales tipos son:

- Cargador no regulado.
- Cargador electrónicamente regulado.
- Cargador en modo de switch.

## 11. REGULADORES DE CARGA

### 11.1 CONCEPTOS GENERALES

Los módulos fotovoltaicos tienen una tensión nominal superior a la tensión nominal de las baterías o acumuladores usados en las instalaciones. Esto se debe a dos causas:

- La tensión nominal del panel debe ser más elevada, para paliar la disminución que se puede producir debido al aumento de temperatura.
- La tensión a circuito abierto del panel fotovoltaico debe ser siempre mayor que la tensión máxima de batería, para poder recargarla adecuadamente. pues para alcanzar un pleno estado de carga en una batería de 12 V nominales, necesitamos una tensión mínima de 14 V (2.34 V por elemento de batería).

La misión del regulador se centra, pues, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en algún momento causar perjuicios al acumulador, acortando la vida del mismo. En definitiva, el regulador de carga es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías.

Esta misión es sumamente importante, ya que trabajamos con una fuente de energía variable y estacional. Supongamos, por ejemplo, un consumo fijo durante todos los días del año. Si calculamos el número de módulos solares necesarios, lógicamente deberemos tomar como base la radiación invernal para asegurar el correcto funcionamiento del sistema en la peor época. Sin embargo, esto nos da pie para pensar que, cuando llegue el verano, el valor de la radiación pueda duplicarse, por lo que la producción sería el doble a la calculada para la estación invernal y, por el contrario, el consumo sería el mismo. De no existir un sistema regulador, se produciría un exceso de corriente que sería capaz de hacer hervir el electrolito, con la consiguiente pérdida de agua y deterioro del grupo acumulador, al no estar limitada la tensión.

Habitualmente, el control del estado de carga de las baterías se realiza mediante la medida de la tensión en bornes, usando los datos proporcionados por los diferentes fabricantes, ya que existe una relación entre estos dos parámetros. Así, el circuito de control del regulador de carga sabe cuándo éste debe empezar a actuar limitando la corriente proporcionada por el grupo fotovoltaico.[2]

## **11.2 REGULADOR SHUNT O PARALELO**

Los dispositivos de este tipo, colocados en paralelo con el grupo solar y el sistema de baterías, detectan la tensión de los bornes de la batería, y cuando ese potencial alcanza un valor establecido de antemano, crean una vía de baja resistencia a través del grupo solar, derivando con ello la corriente y apartándola de las baterías.

Un diodo en serie, situado entre el regulador en derivación y la batería, impide que la corriente del acumulador retorne a través del regulador o del grupo solar. Como el sistema al que se está dando energía toma corriente de la batería, su tensión en los bornes descenderá hasta que se desconecte el regulador en derivación y se reanude la carga. Los reguladores del tipo shunt han de disipar toda la corriente de salida del grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con los grandes sistemas se requieren disipadores térmicos de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de coste elevado.

Este tipo de reguladores, está hoy día en desuso, ya que el avance en los microprocesadores y la electrónica en general ha facilitado el diseño de equipos más compactos y con más prestaciones que las que ofrecían aquéllos, con un coste mucho más contenido y la posibilidad de alojarlos en cajas estancas, cosa que no se podía hacer en el caso de los reguladores shunt, puesto que disipan calor y en consecuencia debe dejarse una salida para su evacuación.

## **11.3 REGULADOR SERIE**

Se basan en el concepto de regulación en serie, en la que el grupo solar se desconecta del sistema de baterías cuando se logra un estado de plena carga, por lo que es equivalente a un interruptor conectado en serie que proporciona una vía de baja resistencia desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga, y un circuito abierto entre el grupo y la batería cuando ésta se encuentra plenamente cargada. En el regulador serie que utilice relé electromecánico no se disipa nada de energía en ninguno de los estados, porque cuando está en la posición cerrado no hay caída de tensión en el interruptor y cuando se encuentra en posición abierto no hay paso de corriente. La única potencia consumida es la requerida para el propio funcionamiento de los circuitos de control y, en su caso, la producida por la caída de tensión en el diodo de bloqueo, si se le dota de este elemento al regulador.

Hoy en día se emplean relés de estado sólido, que evitan los considerables tamaños y consumos de las bobinas que necesitaban para su funcionamiento los relés tradicionales, así como la destrucción prematura de sus contactos,

especialmente en tensiones de trabajo de más de 24 V, debido a los arcos voltaicos que es capaz de producir la corriente continua en estos valores.

Se deduce, pues, que la calidad de un regulador serie está ligado a la calidad del relé que utiliza, que es lo que dará una vida prolongada a este equipo. Hoy en día, las prestaciones mínimas exigibles a un regulador de carga tipo serie, con uso en sistemas fotovoltaicos, son:

- Relé de estado sólido, de elevada fiabilidad de funcionamiento en el tiempo.
- Selección automática de la tensión de entrada, como mínimo en valores estándar de 12 V y 24 V nominales.
- Sistema de regulación en fases diferenciadas, que nos proporcionen una carga adecuada de los acumuladores, evitando el “todo” o “nada” de los primeros reguladores serie.
- Variación de los niveles de carga con la temperatura, mediante un sensor externo o interno que modifique dichos niveles en función de la temperatura ambiente a que se encuentre el acumulador, asegurando de esta forma una carga adecuada a la batería y evitando la falta de carga o la sobrecarga por variaciones de la temperatura. Esta función es especialmente importante en países donde la diferencia de temperatura entre el invierno y el verano es considerable.

En resumen, los reguladores serie utilizados hoy en día para el control de carga de la batería de acumuladores nos aseguran un eficaz trabajo y una mayor vida de los sistemas fotovoltaicos. En la medida que el sistema de regulación realice fases de carga diferenciadas, podremos asegurar un mayor y mejor nivel de carga. [2]

## **12. EL DIODO EMISOR DE LUZ (LED)**

Un LED o diodo emisor de luz es un diodo semiconductor que emite luz. Se usan como indicadores en muchos dispositivos, y cada vez con mucha más frecuencia, en iluminación. La simplicidad del LED lo hace muy atractivo como componente para la visualización y las aplicaciones de comunicación. El LED puede operar hasta frecuencias de modulación de 1GHz. Aunque esto es un espectro bastante amplio, para el ojo humano representa un solo color.

La estructura básica de un LED es una unión p-n la cual está directamente polarizada inyectándose electrones y huecos en las zonas p y n respectivamente. La carga correspondiente a los portadores minoritarios inyectados en cada una de estas zonas se recombina con la correspondiente a la de los portadores mayoritarios bien en la zona de agotamiento o bien en las zonas neutras. En semiconductores de gap directo, esta recombinación da lugar a una emisión de luz (fotones), es decir, que en estos materiales de alta calidad domina la recombinación radiante. Sin embargo, en materiales de gap indirecto el rendimiento de la emisión de luz es bastante pobre, la mayor parte de las recombinaciones tiene un rendimiento muy bajo generando más bien calor que luz.

Los dispositivos emisores de luz (LEDs) son una de las clases de dispositivos que ha dado mayor ímpetu a la industria de los componentes semiconductores. Como el silicio (Si) es un material de gap indirecto, y la recombinación radiante en él es muy pobre, dicho material que domina todas las demás áreas de la electrónica, no es un material utilizado cuando se habla de emisión de luz (LEDs).

### **12.1 FUNCIONAMIENTO DEL LED**

El LED es una unión p-n directamente polarizada en la que se inyectan electrones y huecos en una región en donde se recombinan. En general, la recombinación se puede producir por procesos radiantes o no radiantes. En una recombinación radiante electrón y hueco se recombinan emitiendo un fotón. En una recombinación no radiante, la recombinación da lugar a calor o vibraciones de la estructura.

### **12.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS LED'S**

El funcionamiento del LED depende del proceso de emisión espontánea para proporcionar luz a partir de los electrones y huecos inyectados. Como consecuencia, se tendrán simplificaciones en la fabricación y diseño del LED si se compara con el caso del diodo láser, pero se paga el precio de que sus cualidades no son tan buenas. Las características más importantes del LED son la característica luz-corriente, la pureza espectral de la luz de salida, el tiempo de respuesta frente a señales eléctricas externas y la dependencia de su salida con la temperatura. La pureza espectral (es decir, la separación en distintas longitudes

de onda del haz de salida) es un tema muy crítico desde el punto de vista de un sistema óptico de comunicaciones de alta calidad.

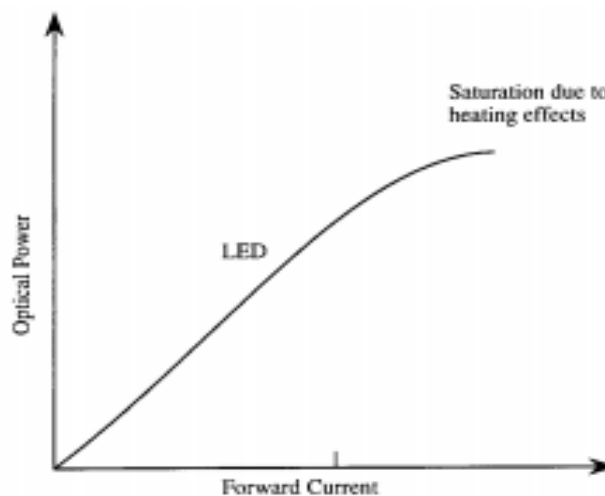
### 12.2.1 Característica luz-corriente

Cuando una corriente  $I$  pasa a través de un diodo directamente polarizado, parte de esa corriente se convierte en luz. Si  $\eta_{\text{tot}}$  es la eficiencia total de esta conversión (que incorporaría la eficiencia cuántica interna y externa), la corriente equivalente de fotones que emergen desde el diodo, entonces:

$$I_{\text{ph}} = \text{número de fotones por segundo} = \eta_{\text{tot}} \frac{I}{e}$$

En general,  $\eta_{\text{tot}}$  depende de la corriente inyectada ya que la vida media radiante de los portadores  $\tau_r$  depende del nivel de inyección de portadores por lo que la relación  $I_{\text{ph}}-I$  es no lineal. Sin embargo, en un LED esta dependencia es bastante débil y la característica  $I_{\text{ph}}-I$  es casi lineal como se muestra en la siguiente figura. Para niveles muy altos de inyección, la luz de salida empieza a saturar ya que el componente comienza a calentarse y la eficiencia de la recombinación radiante disminuye.

Figura 40. Potencia de salida del LED



Fuente: UNIVERSIDAD DE VALENCIA El diodo de emisión de luz (LED). [EN LINEA].URL [http://www.uv.es/=esanchis/cef/pdf/Temas/B\\_T3.pdf](http://www.uv.es/=esanchis/cef/pdf/Temas/B_T3.pdf) (consulta 02 Julio, 2012).

El LEDs de emisión superficial, se produce una caída de la luz de salida a altas corrientes, efecto que ya no se puede explicar simplemente por el calentamiento del componente. Esto sucede porque con altas corrientes la densidad de fotones aumenta lo suficiente como para que se empiece a producir una emisión estimulada de fotones. Esta emisión se produce en el plano del LED por lo que la emisión perpendicular a la superficie del LED disminuye. Estos LEDs son llamados LEDs súper luminiscentes y su comportamiento es similar al de un diodo láser.

### 12.2.2 Características ópticas y eléctricas

El LED es un diodo p-n y como tal su curva característica es parecida a la de un diodo normal de unión p-n. Su tensión de codo está entre 1,2V y 2V dependiendo del material semiconductor. Su resistencia dinámica varía desde unos pocos ( $\Omega$ ) ohms hasta decenas de ( $\Omega$ ) ohms. La tensión de ruptura es de unos 5V.

El tercer parámetro a considerar, especialmente cuando el LED va a ser utilizado en un modo pulsado, es la máxima corriente de pico permisible ( $I_{MP}$ ).

El parámetro óptico más importante es la intensidad luminosa. La intensidad luminosa es una función no lineal de la corriente del LED, de manera que la intensidad luminosa relativa aumenta al aumentar la corriente. Esta no linealidad

## 13. CIRCUITO DE REGULACIÓN Y CONTROL

### 13.1 ¿QUÉ ES UN MICROCONTROLADOR?

Un microcontralador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es CPU, memorias RAM, EEPROM, y circuitos de entrada y salida.

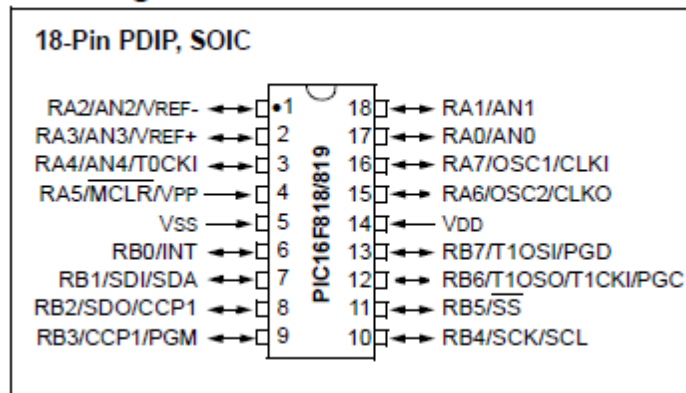
Un microcontrolador de fábrica, no realiza tarea alguna, este debe ser programado para que realice desde un simple parpadeo de un led hasta un sofisticado control de un robot. Un microcontrolador es capaz de realizar la tarea de muchos circuitos logicos como compuertas AND, OR, NOT, NAND, conversores A/D, D/A, temporizadores, decodificadores, etc., simplificando todo el diseño a una placa de reducido tamaño y pocos elementos.

#### 13.1.1EI PIC 16F819

Este es un microcontrolador producido por la empresa Microchip. Es una microcomputadora con arquitectura Harvard y diseñada para bajo consumo de energía. Programable por software tiene la posibilidad de ser programado en muchos lenguajes de programación como ASSEMBLER y PIC BASIC.

Figura 41. Esquema de pines de IC

#### Pin Diagram



Fuente: MICROCHIP.PIC16F818/819 Datasheet.[EN LINEA].

URL. <<http://www.dimensionengineering.com/appnotes/Gmeter/PIC16F818.pdf>> (consulta 02 julio, 2012).

El encapsulado cuenta con 18 pines que lo comunican con el exterior de los cuales 16 se pueden utilizar como puertos de entrada y salida digitales. Si se requiere entradas análogas se pueden implementar 5 gracias al módulo ADC (conversor análogo-digital) de 10bit que posee.



Puede trabajar con oscilador interno o externo con frecuencias que van desde 31KHz a 8MHz para el modo oscilador interno y hasta 20MHz para oscilador externo a cristal. También posee 3 temporizadores internos de los cuales empleamos el TMR0 para programar un reloj temporizador de 24 horas.

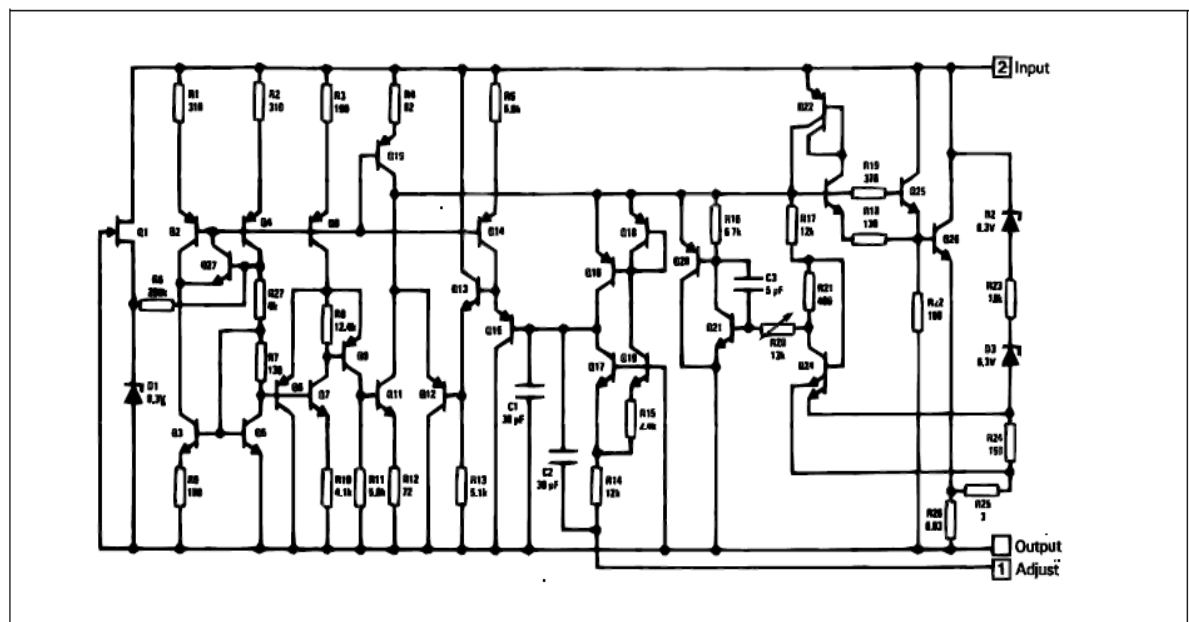
## 13.2 CIRCUITO REGULADOR

El LM338 es un regulador de voltaje positivo ajustables de 3 terminales capaz de suministrar en exceso de más de 5<sup>a</sup> desde 1.2V a 32V en su salida. Es excepcionalmente fácil de usar y requieren de sólo 2 resistencias para establecerla salida de tensión. El cuidadoso diseño de los circuitos internos ha resultado en una regulación de carga excepcional y regulación de la línea comparables a muchas fuentes de alimentación comerciales.

A continuación, se muestra la configuración interna del regulador LM 338:

Figura 42.Circuito interno de un LM338

### SCHEMATIC DIAGRAM



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR.LM138/LM338 5-Amp AdjustableRegulators. [EN LINEA].URL

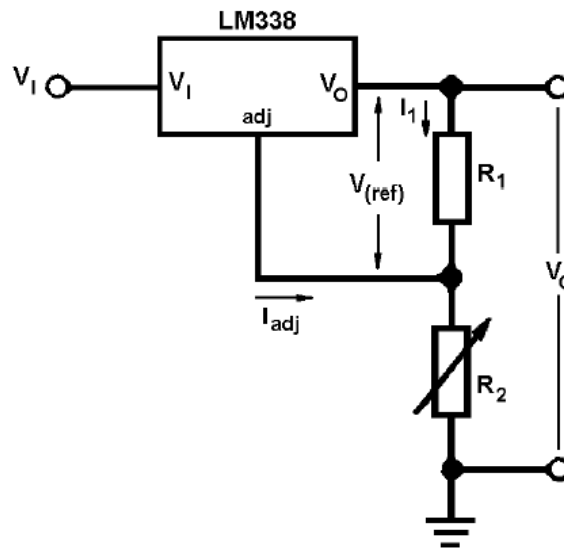
. <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/d/0kd9k2u8d4eukh8rypa0g60wc4wy.pdf>> (consulta 02 julio, 2012)

En funcionamiento, elLM338desarrollaunatensión nominal de referencia interna de1.25V ó  $V_{Ref}$ , entre la salida y ajuste del terminal. La tensión de referencia está

determinada a través de la resistencia  $R_1$ , ya que la tensión es constante, una corriente constante  $I_1$  fluye entonces a través de la resistencia  $R_2$  de salida conjunto, dando una salida voltaje de:

$$V_o = (V_{ref}) \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + (I_{adj})(R_2)$$

Figura 43. Circuito Básico.



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR.LM138/LM338 5-Amp AdjustableRegulators.[EN LINEA].URL.

<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/d/0kd9k2u8d4eukh8rypa0g60wc4wy.pdf>> (consulta 02 julio, 2012)

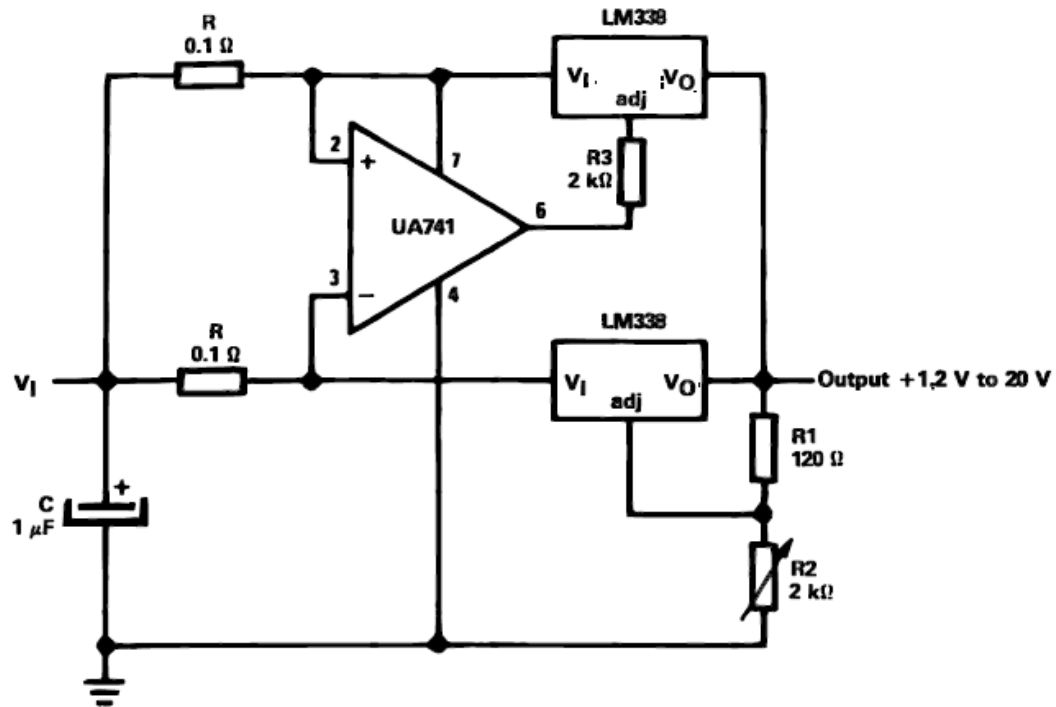
### 13.2.1 Regulador de 10 amperios

El siguiente circuito es determinado por el fabricante para utilizar dos LM338 en paralelo para suministrar en total 10<sup>a</sup>. El circuito puede entregar un voltaje de salida que va desde 1,2 hasta 20 Voltios con la resistencia  $R_2=2K\Omega$  variable se pueden ajustar los voltajes ideales para la carga de la batería en este caso el voltaje se ajustará para entregar un máximo de 13,5V.

Gracias al empleo de un amplificador operacional 741 solo es necesario utilizar una resistencia variable de ajuste  $R_2$ . El 741 trata siempre de mantener un  $I_{adj}$  (corriente de ajuste) constante a través de  $R_3$ .

Por ejemplo: si se varía  $R_2$  el voltaje en el segundo LM338 también varía, en la segunda resistencia de 0.1 ohm varía el voltaje por variación de la corriente en ella. Entonces el 741 capta la diferencia de voltajes en sus terminales 2 y 3 produciendo una corrección proporcional en su salida 6 y modifica la corriente de ajuste para el primer LM338 igualando los dos reguladores a un mismo voltaje.

Figura 44. Circuito Regulador de 10A



Fuente: NATIONAL SEMICONDUCTOR.LM138/LM338 5-Amp AdjustableRegulators. [EN LINEA].URL.

<<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/d/0kd9k2u8d4eukh8rypa0g60wc4wy.pdf>> (consulta 02 julio, 2012)

### 13.3 MANEJO DE RELÉS

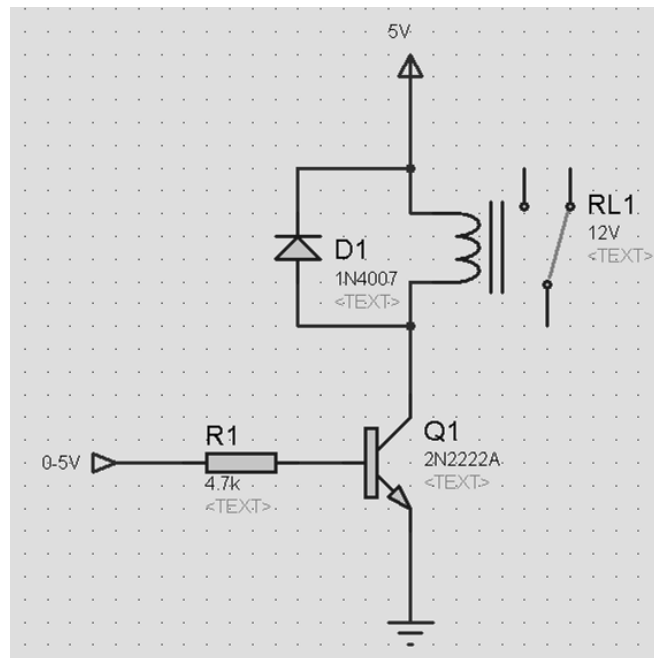
En el proyecto se emplean dos relés: uno para encender y apagar la lámpara, y el otro para conectar y desconectar la carga de la batería. Los relés empleados funcionan con 5V, nivel de voltaje que es manejado por el microcontrolador, pero no es recomendable conectar bobinas directamente al microcontrolador, ya que estas tienden a devolver energía almacenada en ellas que puede dañarlo. Para disipar esa energía almacenada se emplea un diodo rectificador común. Además si las bobinas de los relés manejan cargas de corriente que el

microcontrolador no puede suministrar es necesario optar por otra fuente de corriente para el relé.

Activar el relé se logra excitando un transistor 2N2222 en su base para que se sature o funcione como conmutador. El 2N2222 puede manejar una corriente de colector de hasta 800mA, pero no es necesaria tanta corriente para activar el relé por lo que la bobina necesita alrededor de 500mA o menos. Su ganancia de corriente varía de 100 hasta 300<sup>a</sup>.

Para realizar un cálculo rápido y práctico con el que podemos saber la corriente de base necesaria para saturarlo empleamos los siguientes datos:

Figura 45. Driver para un relé de 5V



Fuente: Diseño propio, creado en proteus

$I_c$  (corriente colector) = 500mA

$I_b$  (corriente base) = ¿?

$H_{fe}$  (ganancia o beta) = 100

$V_{be}$  (voltaje base emisor) = 0.7V

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}}$$
$$I_b = \frac{500mA}{100} = 0.5mA$$

R<sub>b</sub> (resistencia de base) = ¿?

$$R_b = \frac{(V_{\text{fuente}} - V_{be})}{I_b}$$

$$R_b = \frac{(5V - 0.7)}{0.5mA} = 8.6K\Omega$$

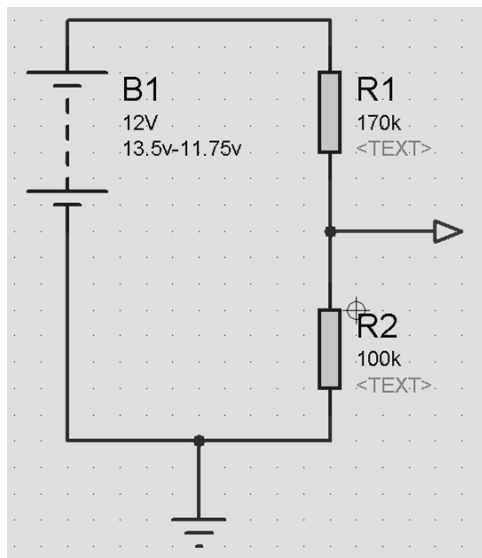
Entonces podemos emplear valores de resistencia igual o menores de 8,6 KΩ en este caso empleamos 4,7KΩ que es un valor estándar.

## 13.4 MEDICIÓN DEL VOLTAJE DE LA BATERÍA Y FOTOCELDA

### 13.4.1 Voltaje de batería o acumulador

El microcontrolador funciona con niveles de voltaje que no sobrepasan los 5V, por esta razón no se puede medir el voltaje de la batería directamente. Entonces se emplea un sencillo divisor de voltaje para entregar un nivel seguro VDC del microcontrolador.

Figura 46. Divisor de voltaje aplicado a la batería



Fuente: Diseño propio, creado en proteus

Batería cargada

- Corriente divisor =  $\frac{13.5V}{270K\Omega} = 0.05mA$
- Voltaje en R<sub>2</sub> =  $13.5V \left( \frac{100}{270} \right) = 5V$

Batería descargada

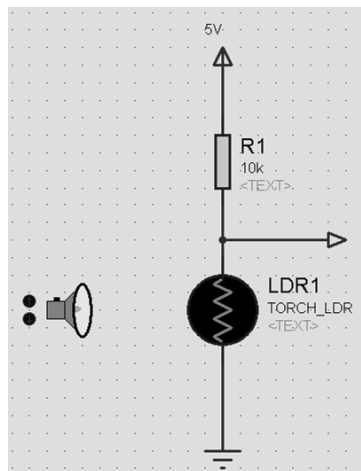
- Corriente divisor =  $\frac{11.75V}{270K\Omega} = 0.043mA$
- Voltaje  $R_2 = 11.75V \left( \frac{100}{270} \right) = 4.35V$

- La corriente que consume el divisor es despreciable y no descargará la batería fácilmente.
- El nivel de voltaje con la batería al máximo es 5V y con la batería baja es 4.35V niveles de voltaje seguros para el microcontrolador.

### 13.4.2 Voltaje de la fotocelda

La fotocelda varía su resistencia eléctrica según la cantidad de luz que incide en ella, esto quiere decir que si aumenta la cantidad de luz, disminuye la resistencia.

Figura 47. Circuito funcionamiento de la fotocelda



Diseño propio, creado en proteus

Este sencillo circuito funciona de igual forma como el divisor de voltaje de la batería. La diferencia está en que para saber el voltaje de la fotocelda hay que exponerla a las condiciones de luz en que la lámpara LED deberá encenderse y apagarse.

Inicialmente se ha medido la resistencia de la fotocelda a las 6:30 pm y arrojo un valor aproximado de 25 KΩ. Entonces el umbral de encendido y apagado es:

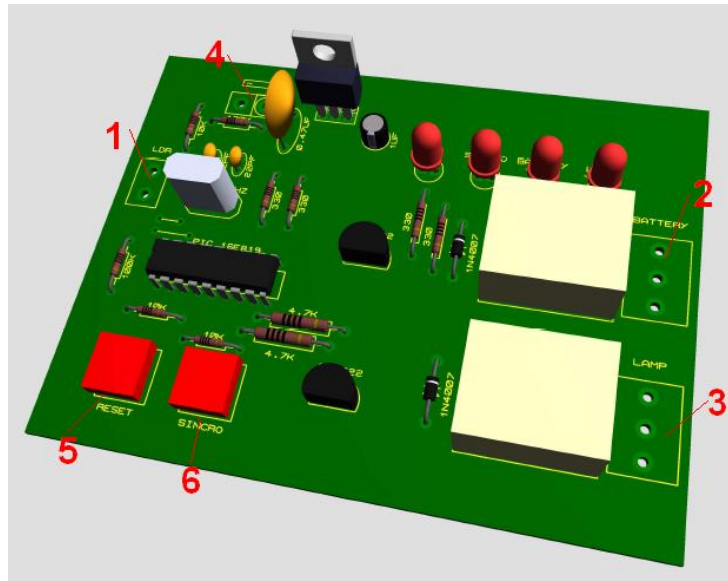
$$\text{Umbral} = 5V \left( \frac{25K\Omega}{25K\Omega} \right) = 3.57V$$

Es decir si el voltaje en la fotocelda es mayor al del umbral es de noche y para el caso contrario es de día.

### 13.5 FUNCIONAMIENTO TARJETA CONTROLADORA

La tarjeta controladora basada en el micro controlador PIC 16F819 está diseñada para el control de lámpara alimentada por energía solar almacenada en baterías. Así que provee el control necesario para la carga de la batería y el encendido de la lámpara cuando es de noche y su correspondiente apagado durante las horas del día, gracias a la revisión de las condiciones de luz por medio de una foto celda y el manejo del tiempo correcto. El microcontrolador puede medir el voltaje de la batería y determinar su estado.

Figura 48. Diagrama de tarjeta controladora



Fuente: Diseño propio, creado en proteus

1. Punto de instalación de LDR (Foto celda).  
En este punto se conectan directamente los terminales de la foto celda que tiene como función revisar las condiciones de luz necesarias.  
  
Este también es un punto de medición del voltaje en la foto celda con el cual se puede determinar el umbral de luz y así calibrar el sistema.
2. Punto de conexión control carga de batería.  
En este punto se encuentran los contactos del relé que controla la carga de la batería. Su función es interrumpir o permitir el flujo de corriente que proviene del regulador de 10 A cuando el estado de la batería lo requiera.

3. punto de conexión para control de encendido/apagado de la lámpara.  
En este punto se encuentran los contactos del relé que controla el encendido/apagado de la lámpara. Su función es interrumpir o permitir el flujo de corriente que proviene de la batería cuando las condiciones de luz sean las ideales.
4. alimentación de la tarjeta controladora 12V proveniente de la batería.  
Alimentación de la tarjeta. La tarjeta es alimentada con 12V, pero todos los componentes emplean 5V para su funcionamiento gracias al regulador LM7805.
5. Botón de reset. Restablece el control a un punto inicial.  
En todos los circuitos con características digitales y microcontrolados es necesario un reset para restablecer. Si en algún momento el sistema funciona mal se debe hacer un reset. El mal funcionamiento puede ser producto de una fuerte descarga estática o interferencia que puede hacer perder al microcontrolador el rumbo del programa. También sirve para poner la tarjeta en el estado inicial para ser sincronizada.
6. Botón de sincronización.  
Cuando se enciende la tarjeta por primera vez o después de un reset es necesario poner el sistema en modo de sincronización a la espera del primer cambio de luz (día a noche) para iniciar el temporizador interno en el preciso momento del encendido de la lámpara. Con la sincronización se garantiza que el temporizador que maneja intervalos de 12 horas coincida con el amanecer o anochecer.



Figura 49.Leds indicadores



Fuente: Diseño propio, creado en proteus

- **LOW** (color rojo): indica que la batería se encuentra agotada
- **SINCRO** (verde): indica el estado de la sincronización. Encendido y fijo indica que el sistema se encendió por primera vez, pero no se ha dado una orden de sincronización. Intermitente indica que ya se dio la orden de sincronizar pero no ha habido un cambio de luz. Apagado indica que ya se produjo el cambio de luz y se sincronizó el temporizador.
- **BATERY** (verde): indica que se encendió el relé de carga de batería y por tanto se está cargando la misma.
- **LAMP** (verde): indica que se encendió el relé de encendido de la lámpara y por tanto que la lámpara está encendida.

### 13.6 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN DESARROLLADO PARA CONTROL Y REGULACION

```
*****
'* Name : UNTITLED.BAS *
'* Author : [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'* Notice : Copyright © 2012 [select VIEW...EDITOR OPTIONS] *
'* : All Rights Reserved *
'* Date : 19/07/2012 *
'* Version : 1.0 *
'* Notes : *
'* : *
*****

DEFINE ADC_BITS 8 ' El ADC funciona co 8 bit valor max decimal=255
DEFINE ADC_CLOCK 3 ' selecciona reloj del ADC (rc = 3)
DEFINE ADC_SAMPLEUS 50 ' frecuencia de muestreo 50 uS

ADCON1=2 ' habilita el ADC 5 canales desde RA0 hasta RA4
TRISA=$FF ' habilita el puerto A como entradas
TRISB.1=0 ' habilita el portb.1 (RB1) como salida
```

```

TRISB.0=0 'habilita el portb.0 (RB0) como salida
TRISB.4=1 'habilita el portb.4 (RB4) como ENTRADA
TRISB.5=0 'habilita el portb.5 (RB5) como salida
TRISB.6=0 'habilita el portb.6 (RB6) como salida
portb.1=0 'asigna valor inicial apagado relé batería
portb.6=0

portb.0=0 'asigna valor inicial apagado relé lámpara
HORA VAR BYTE 'variable en que se guarda las horas
MINUT VAR byte 'variable en que se guarda los minutos
SEGUN VAR BYTE 'variable en que se guarda los segundos
CUENTA VAR BYTE 'variable en que se guarda las horas
ACTUAL VAR BYTE
X VAR BYTE 'variable de control para el timer interno
A0 VAR BYTE 'variable que registra el voltaje de batería
A1 VAR BYTE 'variable que registra el voltaje de fotocelda

WHILE PORTB.4=0 'pulsador de sincronización
    PORTB.5=1 'led de sincronización
WEND
SINCRONIZAR:
PORTB.5=0
PAUSE 200
PORTB.5=1
PAUSE 300
ADCIN 1, A1 'leer voltaje de la fotocelda y guardar valor e A1
IF A1>=127 THEN
    HORA=0 'valores iniciales para las variables
    MINUT=0
    SEGUN=0
    CUENTA=0
    ACTUAL=1
    PORTB.5=0
ELSE
    GOTO SINCRONIZAR
ENDIF

OPTION_REG=%1010110 "''''''''''
INTCON=%10100000 'configuración para habilitar las interrupciones del timer
ON INTERRUPT GOTO INTERRUPT "''''''''''
INICIO:

ADCIN 0, A0 'leer voltaje de la batería y guardar valor e A0
ADCIN 1, A1 'leer voltaje de la fotocelda y guardar valor e A1
'regla de 3 para convertir de voltios a valores que el PIC reconoce
'voltios x 255/5

```

```

'Ej.  $4.35V \times 255/5 = 221.85$  ó 222

if A0>=229 or A1>127 then 'umbral de oscuridad
PORTB.1=0 'apaga relé de carga pone 0Voltios en RB1
ENDIF
IF A1<127 and A0<229 THEN '222=4, 35 voltios
PORTB.1=1 'enciende rele de carga pone 5 Voltios en RB1
ENDIF
if A0<197 then
portb.6=1 'ledbacteria descargada
else
portb.6=0
endif

if hora=0 then 'si hora es 12
if A1>=127 then 'y si voltaje fotocelda mayor a umbral
PORTB.0=1 'entonces enciende relélámpara
ENDIF
endif
if hora=12 then 'si hora es 12
IF A1<=127 THEN 'y si voltaje fotocelda es menor a umbral
PORTB.0=0 'entonces apaga relélámpara
ENDIF
endif
ACTUALIZA:
ACTUAL=0
GOTO INICIO

PAUSA: 'rutina necesaria para compensar imprecisión de timer
FOR X=1 TO 20 'mientras se deshabilitan las interrupciones del tiimer
PAUSE 10
NEXT X
ACTUAL=1
GOTO ACTUALIZA

DISABLE
INTERRUP:
CUENTA=CUENTA+1
TMR0=4

'el timer TMR0 puede contar 32256 uS
'Lo que repetido 31 veces da aproximadamente 1 seg
IF CUENTA<31 THEN RESET
CUENTA=0

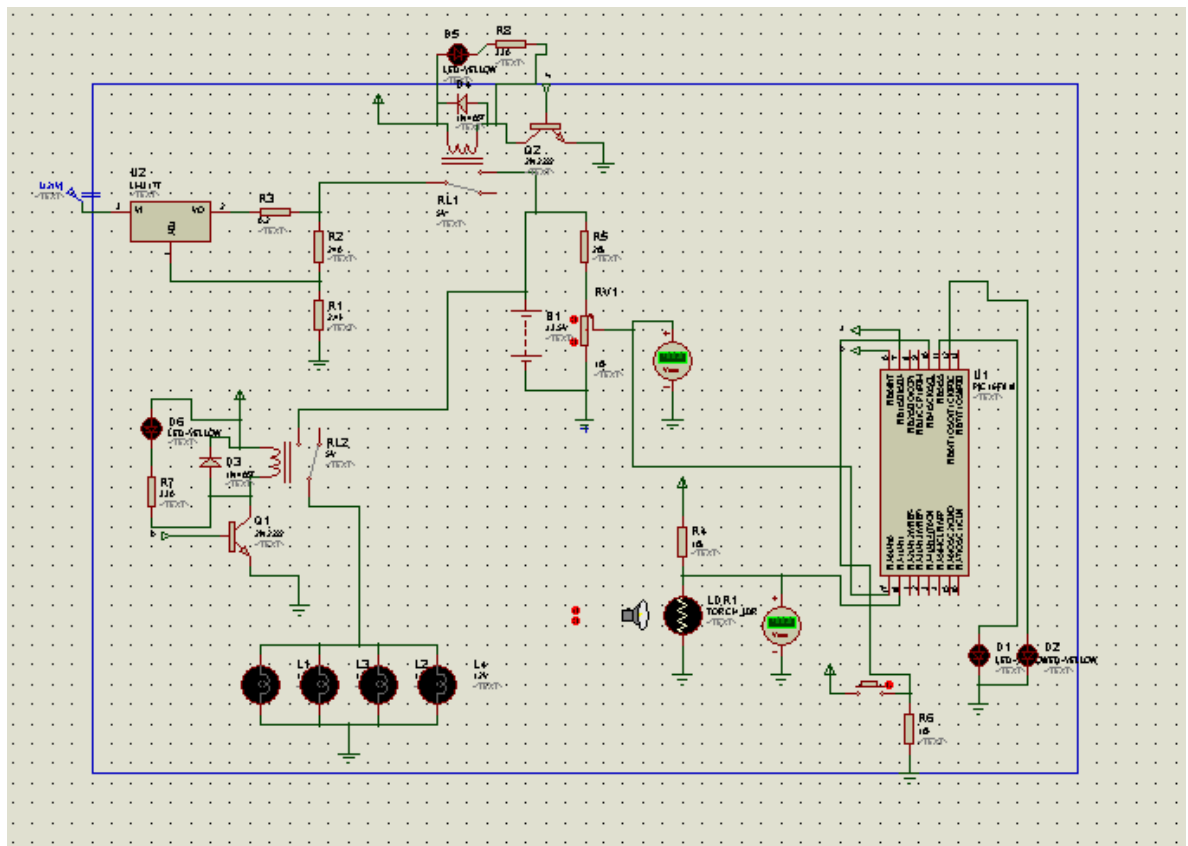
```

```
SEGUN=SEGUN+1
IF SEGUN>=60 THEN
SEGUN=0
MINUT=MINUT+1

IF MINUT>=60 THEN
MINUT=0
HORA =HORA+1
IF HORA>=24 THEN
HORA=0
ENDIF
ENDIF
ENDIF
ACTUAL=1

RESET:
INTCON.2=0
RESUME
END
```

Figura 50. Esquema de circuito diseñado



Fuente: diseño propio, creado en proteus

## 14. DISEÑO DEL SFAP

Se estima inicialmente el consumo energético de las cargas a las que estará sometido el sistema. La tabla 1 muestra el consumo energético estimado.

Tabla 1. Consumo energético estimado

CONSUMO ENERGÉTICO ESTIMADO				
Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas (h)	Energía (W·h)
Luminaria Led	1	50	12	600
			<b>Total (W·h)</b>	600

Fuente: Elaboración propia (Anexo A)

El total registrado en la Tabla 1, corresponde al consumo energético total teórico,  $E_T = 600 \text{ Wh/día}$ .

Se debe determinar el consumo energético real (E), el cual incluye algunos factores de pérdidas, asociados a la operación del sistema.

El consumo energético real se determina a partir de la expresión:

$$E = \frac{E_T}{R}$$

Ecuación 1. Cálculo del Consumo Energético Real

Donde R es el parámetro de rendimiento global del sistema fotovoltaico, definido por la expresión:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right)$$

Ecuación 2. Cálculo del rendimiento global del SFDónde:

- $K_b$ : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador (batería). Se considera 0.05 en sistemas que no demanden descargas intensas, y 0.1, en sistemas con descargas profundas.
- $K_c$ : Coeficiente de pérdidas en el inversor (0.05 para inversores de señal sinodal pura, y 0.1 en caso contrario).
- $K_v$ : Coeficiente de pérdidas misceláneas (reúne pérdidas por efectos de calentamiento, y rendimiento de los conductores del sistema). El valor de este coeficiente oscila entre 0.05-0.15.
- $K_a$ : Coeficiente de auto-descarga diaria (depende del tipo de batería seleccionada).
- $N$ : Número de días de autonomía (días en los cuales el sistema es capaz de suministrar energía a las cargas, sin el aporte energético de los paneles).

- Pd: Profundidad de descarga diaria de la batería. Este parámetro mide el porcentaje de descarga de la batería.

Para el desarrollo de los cálculos, se consideran parámetros con los siguientes valores:

$$K_b = 0.1; K_c = 0.05; k_V = 0.1; K_a = 0.005; N = 1; P_d = 0.8$$

Como este sistema solo va a trabajar con VDC no es necesario usar inversor por lo tanto  $k_c = 0$ . El valor del coeficiente de auto descarga diaria ( $K_a$ ), se considera, teniendo en cuenta que la batería implementada en el SF, es de Pb-ácido. En el **Anexo A**, se muestran las etapas del diseño, para diferentes perfiles de consumos energéticos.

$$R = (1 - 0,1 - 0 - 0,1) * \left(1 - \frac{0,005 * 1}{0,75}\right)$$

$$R = 0,79$$

Entonces,

$$E = \frac{600 \text{ Wh/día}}{0,79}$$

$E = 759,4 \text{ Wh/día}$
----------------------------

## 14.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA BATERÍA

La capacidad de la batería está dada por la expresión:

$$C = \frac{E * N}{V * P_d}$$

Ecuación 3. Cálculo de la capacidad de la batería

Dónde:

- E: Consumo energético real
- N: Número de días de autonomía
- V: Tensión nominal de la batería seleccionada (12V)
- Pd: Profundidad de descarga diaria de la batería.

$$C = \frac{759,4 \text{ Wh/día} * 1}{12 \text{ V} * 0,75}$$

$$C = 84,4 \text{ A/h}$$

Ahora podemos calcular el número de baterías ( $N_b$ ) que se requieren en base a la batería elegida ( $C_{bat}$ ) en KWh con la siguiente ecuación:

$$N_b = \frac{C}{C_{bat}}$$

Ecuación 4. Cálculo de número de baterías

A partir de la Ecuación 3, se determina que la capacidad de la batería, corresponde a 84,4 A/h. A disposición contamos con dos baterías con capacidad normalizada de 135 A/h (accesible comercialmente). [Para ver información de la batería, remítase a: Manual del Usuario]. Entonces:

$$N_b = \frac{84,4^a/h}{135 \text{ A/h}}$$

$$N_b = 0,62 \approx 1$$

Es decir, se requiere de una batería de 135 A/h para suplir la demanda del sistema y asegurar un día de autonomía de diseño.



## 14.2 DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES

El número de paneles solares para el SFAP, está definido por la expresión:

$$NP = \frac{E}{0,9 * W_p * HPS}$$

Ecuación 5. Calculo de número de paneles

Dónde:

- E: Consumo energético real.
- 0,9: Coeficiente de pérdidas adicionales.
- $W_p$ : Potencia pico de los paneles solares.
- HPS: Horas pico solares.

$W_p = 120W$ .

El número de horas pico solar, corresponde, en magnitud, a la radiación solar promedio de la zona de ubicación del SF. Se estima una radiación solar de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>-día, de acuerdo con el Atlas de Radiación Solar del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), y la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). **El Anexo B**, contiene los mapas de radiación solar en Colombia.

En este proyecto se tienen a disposición un par (2) de paneles solares, con potencias pico, individuales, de 120W, fabricados con silicio amorfo. El costo de estos paneles se ajusta a los requerimientos del presupuesto del proyecto, y su composición física, los hace inmune a la intemperie, y a las condiciones de contaminación de la ciudad de Barranquilla (lugar de implementación del proyecto), la cual, presenta un grado un muy fuerte de contaminación, de acuerdo con la clasificación de la norma IEC 71-2.

Entonces:

$$NP = \frac{759,4Wh/día}{0,9 * 120W * 5,5KWh/m^2 \cdot día}$$

$$NP = 1,28 \approx 1$$

Es decir, que se requieren de tan solo un panel solar de 120W para suplir la demanda del sistema.

En resumen, para una carga estimada de 600W·h/día, considerando que se cuenta con 5 horas de radiación solar de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>-día, y asumiendo un (1) día de autonomía, es necesario un panel de 120W y una batería cale sellada ciclo profundo de 135 A·h

### 14.3 CÁLCULO DEL REGULADOR DE CARGA

Una vez definido el número de paneles fotovoltaico, deberemos calcular el regulador de carga necesario, para ello simplemente multiplicaremos la intensidad de cortocircuito de cada panel, obtenida del catálogo, por el número de paneles en paralelo necesarios. Ese producto será la máxima intensidad nominal a la que trabajará el regulador:

$$I_{reg} = I_{cc/panel} * NP$$

Ecuación 6. Cálculo de regulador de carga

Dónde:

- $I_{cc/panel}$ : Corriente de cortocircuito de cada panel
- NP: Número de paneles

$$I_{reg} = 7,8 * 1$$

$$I_{reg} = 7,8 \text{ A}$$

Es decir, que se requiere de un regulador de 12VDC que sea capaz de soportar un corriente de hasta 8 A.

### 14.4 CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL CABLEADO

El cálculo de la sección de los conductores se realiza utilizando la siguiente expresión:

$$S_{conductor} = \frac{2 * L * I}{C * \%_{regulacion}}$$

Ecuación 7. Cálculo de sección de conductor

Dónde:

- $S_{conductor}$ : sección de conductor en mm<sup>2</sup>
- L: longitud del conductor (lo que mide en metros un solo conductor)
- I: amperios que van a pasar por el conductor
- C: constante (para el cobre 56, para aluminio 35)
- $\%_{regulacion}$ : Porcentaje de la caída de tensión permisible (el 1%, 3%, 5% del voltaje del sistema 12, 24 V)

El cálculo de la sección de los conductores, se realiza dependiendo el tramo entre dispositivos, es decir, se realiza el cálculo para el tramo entre el panel y el regulador; el regulador y la batería o acumulador; y el regulador y la carga en este caso la lámpara de 50W.

A continuación se muestra en la tabla 2, los porcentajes de regulación de voltaje máximos y recomendados según el tramo entre dispositivos.

Tabla 2. Porcentajes de regulación de voltaje máximos y recomendados según el tramo entre dispositivos

PORCENTAJES DE REGULACIÓN MÁXIMOS Y RECOMENDADOS SEGÚN EL TRAMO DEL CONDUCTOR		
ELEMENTO	MAXIMA	RECOMENDADA
PANEL -REGULADOR	3%	1%
REGULADOR- BATERIA	1%	0,5%
ACUMULADOR-INVERSOR	1%	1%
LINEA DE ILUMINACION	3%	3%
OTROS EQUIPOS	5%	3%

Fuente: SOLARWEB. Calculo de sección cables en CC. [EN LINEA]. URL. <http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/8413-calculo-seccion-cables-cc.html> (consulta 02 julio, 2012)

- Para el cálculo de la sección del conductor que va del panel al regulador se tiene:

$L=11\text{mts}; I=7,1^a \approx 8^a; Cte.=56; \%regulación=3\%$ .

Se tiene como resultado una sección del conductor de:

$$S_{\text{conductor}} = \frac{2 * 11\text{m} * 8^a}{56 * 0.36} = 8.73\text{mm}^2$$

- Para el cálculo de la sección del conductor que va del regulador la batería se tiene:

$L=1\text{mt}; I=10^a; C=56; \%regulación=1\%$ .

Se tiene como resultado una sección del conductor de:

$$S_{\text{conductor}} = \frac{2 * 1\text{m} * 8^a}{56 * 0.12} = 2.98\text{mm}^2$$

- Para el cálculo de la sección del conductor que va del regulador a la lámpara se tiene:

$L=14.5\text{mts}; I=4.16^a; C=56; \%regulación=3\%$

Se tiene como resultado una sección del conductor de:

$$S_{conductor} = \frac{2 * 14.5m * 4.16A}{56 * 0.12} = 5.98mm^2$$

La tabla 3 muestra la equivalencia entre los calibres AWG y los mm<sup>2</sup> del sistema métrico de conductores eléctricos.

Tabla 3. Comparación entre calibres AWG (American Wire Gauge) y los milímetros cuadrados (mm<sup>2</sup>) del sistema métrico

AWG	mm <sup>2</sup>
18	0,75
17	1
16	1,5
14	2,5
12	4
10	6
8	10
6	16
4	25
2	35
1	50
1/0	55
2/0	70
3/0	95

Fuente: SOLARWEB. Calculo de sección cables en CC. [EN LINEA]. URL. <http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/8413-calculo-seccion-cables-cc.html> (consulta 02 julio, 2012)

Para la selección del calibre del conductor en el sistema AWG se redondea los mm<sup>2</sup> al valor superior más cercano, y se escoge el valor correspondiente en la tabla 3.

Entonces según los valores obtenidos los calibres correspondientes en AWG son:

- Tramo de panel a regulador: 8 AWG
- Tramo de regulador a batería o acumulador: 12 AWG
- Tramo de regulador a lámpara: 10 AWG

Resumiendo los cálculos anteriores se puede decir y/o concluir que el diseño del sistema solar requiere de un panel solar de 120W, una batería de 135A/h, un

regulador de carga de 10A además de secciones de conductores de 12, 10 y 8 AWG para suplir la demanda de la carga (lámpara led) de 50W.

## 15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las actividades llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto, permitió el cumplimiento de los objetivos.
- La metodología utilizada para el diseño del sistema fotovoltaico para alumbrado público, reúne los componentes necesarios para la selección de los componentes que lo integran.
- El prototipo ofrece un período de autonomía de 1 día (12 horas aproximadamente), para una estimación energética de 600Wh/día; y con la implementación de la tarjeta microcontroladora, este presenta una ventaja considerable.
- Las pruebas efectuadas permitieron verificar la operación individual de los componentes del sistema, y del prototipo completo. Se observó un comportamiento adecuado de la tensión entregada por el panel, y esta a su vez regulada por la tarjeta controladora, sin embargo, la corriente es muy susceptible a los cambios de las condiciones climáticas.
- Se diseñó y se construyó una tarjeta electrónica que controla la carga de la batería, la regulación de voltaje y corriente en el sistema fotovoltaico, el encendido y apagado de la lámpara.
- Se recomienda la instalación de una base galvanizada para el apoyo del panel con una inclinación de 20°.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] BIBLIOTECA VERDE. Norma técnica universal para sistemas fotovoltaicos domésticos. Versión 2. Revisado año 2001. [En Línea]. URL: <[http://www.bibliotecaverde.org/images/e/e2/Standard\\_EspV2.pdf](http://www.bibliotecaverde.org/images/e/e2/Standard_EspV2.pdf)> (consulta 21 abril, 2012).
- [2] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0540. (30, Marzo, 2010). Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, Anexo General. Bogotá, D.C., 2010. 227p.
- [3] GOBIERNO DE CANARIAS. Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables. Instalaciones Fotovoltaicas. ESPAÑA.
- [4] HARPER, Enríquez. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México D.F., Limusa, 2011. 368 p.
- [5] MICROCHIP. PIC16F818/819 Datasheet. [En línea]. URL: <<http://www.dimensionengineering.com/appnotes/Gmeter/PIC16F818.pdf>> (consulta 02 julio, 2012).
- [6] NATIONAL SEMICONDUCTOR. LM138/LM338 5-Amp adjustable Regulators. [En línea]. URL: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/d/0kd9k2u8d4eukh8rypa0g60wc4wy.pdf>> (consulta 02 julio, 2012).
- [7] REYES, Carlos A. Microcontroladores PIC programación en Basic. Quito: RISPERSGRAF, 2006. 209 p.
- [8] SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía solar fotovoltaica. México D.F., Limusa, 2008. 314 p.
- [9] UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA. Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano. [En Línea]. URL: <[http://dspace.unia.es/bitstream/10334/503/1/0115\\_Sanchez%20.pdf](http://dspace.unia.es/bitstream/10334/503/1/0115_Sanchez%20.pdf)>. (Consulta 02 julio, 2012).
- [10] UNIVERSIDAD DE VALENCIA El diodo de emisión de luz (LED). [EN LINEA]. URL: <[http://www.uv.es/~esanchis/cef/pdf/Temas/B\\_T3.pdf](http://www.uv.es/~esanchis/cef/pdf/Temas/B_T3.pdf)> (consulta 02 Julio, 2012).
- [11] Universidad tecnológica de Pereira. Diseño de una instalación solar fotovoltaica. URL: <<http://blog.utp.edu.co/ricosta/files/2011/08/solar-FOTOVOLTAICO.pdf>> (Consulta: 23 junio, 2012).

## GLOSARIO

Algunas de estas definiciones están basadas en las definiciones establecidas (Reglamento Técnico de Instalaciones de Alumbrado Público RETILAP<sup>9</sup>.

**ALTURA DE MONTAJE (EN UNA VÍA):** Distancia vertical entre la superficie de la vía por iluminar y el centro óptico de la fuente de luz de la luminaria.

**CABLE:** conjunto de alambres sin aislamiento entre sí y entorchado por medio de capas concéntricas.

**CAMPO VISUAL:** Lugar geométrico de todos los objetos o puntos en el espacio que pueden ser percibidos cuando la cabeza y los ojos de un observador se mantienen fijos. El campo puede ser monocular o binocular.

**CÉLULA FOTOVOLTAICA:** Es una delgada lámina de un material semiconductor compuesto principalmente por silicio de cierto grado de pureza, que al ser expuesto a la luz solar absorbe fotones de luz con suficiente energía como para originar el “salto de electrones”, desplazándolos de su posición original hacia la superficie iluminada.

**CORRIENTE ELÉCTRICA:** es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro.

**ELECTRON:** El electrón tiene una carga eléctrica de igual magnitud, pero de polaridad contraria a la del protón. Dicha cantidad, cuyo valor es de  $1,602 \times 10^{-19}$  coulombios, es llamada carga elemental o fundamental, y es considerada a veces un cuanto de carga eléctrica, asignándosele un valor unitario.

**ENLACE ROTO:** Cuando un enlace está incompleto (roto) aparece el concepto de hueco. Un electrón de valencia de un átomo vecino puede dejar su enlace y rellenar el hueco, dejando otro hueco en la posición que ocupaba. El hueco se mueve en sentido contrario al electrón.

**FLUJO LUMINOSO ( $\Phi$ ):** Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en todas las direcciones por unidad de tiempo. Su unidad es el lúmen (lm).

**FOTOCONTROL:** Dispositivo utilizado, normalmente, para conectar y desconectar en forma automática luminarias de alumbrado público en función de la variación del nivel luminoso. Los fotocontroles usados comúnmente son del tipo electromagnético y/o electrónico.

**HUECO:** Es la ausencia de un electrón en la banda de valencia.

**ILUMINACIÓN:** Acción o efecto de iluminar.

**LED:** Diodo emisor de luz.

---

<sup>9</sup>COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 18 0540. (30, Marzo, 2010). F cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP, Anexo General. Bogotá, D.C., 2010. 227p.



**LUMINARIA:** Aparato de iluminación que distribuye, filtra o transforma la luz emitida por una o más bombillas o fuentes luminosas y que incluye todas las partes necesarias para soporte, fijación y protección de las bombillas, pero no las bombillas mismas y, donde sea necesario, los circuitos auxiliares con los medios para conectarlos a la fuente de alimentación.

**NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN MANTENIDOS:** Son los niveles de iluminación adecuada a la tarea que se realiza en un local o en una vía. Los ciclos de mantenimiento y limpieza se deben realizar para mantener los valores de iluminación mantenidos y tendrán que sustituirse las bombillas justo antes de alcanzar este nivel mínimo, de este modo se asegura que la tarea se pueda desarrollar según las necesidades visuales. No son niveles de diseño, cuando se realiza el proyecto de iluminación normalmente se establecen niveles de iluminación superiores, según los ciclos de mantenimiento del local o de la vía, que dependerá de la fuente de luz elegida, de las luminarias, así como de la posibilidad de ensuciamiento. Con el tiempo el valor de iluminación inicial va decayendo debido a la pérdida de flujo de la propia fuente de luz, así como de la suciedad acumulada en luminarias, paredes, techos y suelo.

**PIC:** Circuito integrado programable.

**POTENCIA NOMINAL DE UNA FUENTE LUMINOSA:** Potencia requerida por la fuente luminosa, según indicación del fabricante, para producir el flujo luminoso nominal. Se expresa en vatios (W).

**RADIACIÓN:** Emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas.

**RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA:** Radiación de energía asociada a un campo eléctrico y a un campo magnético variables periódicamente y que se desplazan a la velocidad de la luz.

**RADIACIÓN VISIBLE:** Cualquier radiación electromagnética de longitud de onda adecuada capaz de causar sensaciones visuales.

**RETILAP:** Reglamento técnico de instalaciones de alumbrado público.

**SFAP:** Sistema fotovoltaico de alumbrado público.

**SILICIO:** El silicio es un elemento químico metaloide, número atómico 14 y situado en el grupo 3 de la tabla periódica de los elementos formando parte de la familia de los carbonoides de símbolo Si. Es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (27,7% en peso) después del oxígeno. Se presenta en forma amorfa y cristalizada; el primero es un polvo parduzco, más activo que la variante cristalina, que se presenta en octaedros de color azul grisáceo y brillo metálico.

**TENSIÓN NOMINAL:** Valor de la tensión de alimentación especificado por el fabricante y según el cual se determinan las condiciones de aislamiento y de funcionamiento de un equipo. Se expresa en voltios (V).

**VIDA ÚTIL:** tiempo durante el cual un bien cumple la función para la que fue concebido.

**VIDA ÚTIL (DE UNA FUENTE LUMINOSA):** Período de servicio efectivo de una fuente que trabaja bajo condiciones y ciclos de trabajo nominales hasta que su flujo luminoso sea el 70 % del flujo luminoso total.

**VISIBILIDAD:** Cualidad o estado de ser perceptible por el ojo. En muchas aplicaciones en exteriores, la visibilidad se define en términos de distancia a la cual un objeto puede ser percibido escasamente por el ojo. En aplicaciones en interiores, usualmente se define en términos de contraste o del tamaño de un objeto estándar de prueba, observado en condiciones normalizadas de visión, con el mismo umbral que el objeto dado.

***Anexo***

**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha 30 de agosto de 2012

**Tesis Trabajo de Grado**

Yo Darío Mendoza peñaranda, identificado con C.C. No.1140822852 actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o

Trabajo de grado titulado Alumbrado Publico Autosostenible Presentado y Aprobado en el año 2012 como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

El AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_ de Dos Mil \_\_\_\_ 200 \_\_\_\_

EL AUTOR - ESTUDIANTE. Dario Mendoza Peñaranda  
FIRMA 1140822852

**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha 30 de agosto de 2012

**Tesis Trabajo de Grado**

Yo Jefferson Díaz Vásquez, identificado con C.C. No.1129537430 actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o

Trabajo de grado titulado Alumbrado Publico Autosostenible Presentado y Aprobado en el año 2012 como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

El AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de Dos Mil \_\_\_\_\_ 200\_\_\_\_\_

EL AUTOR - ESTUDIANTE. Jefferson Díaz Vásquez  
FIRMA 1049894887



**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha 30 de agosto de 2012

**Tesis Trabajo de Grado**

Yo Jaime Arango Ortiz, identificado con C.C. No.1129537430 actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o

Trabajo de grado titulado Alumbrado Publico Autosostenible Presentado y Aprobado en el año 2012 como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

El AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_ de Dos Mil \_\_\_\_ 200 \_\_\_\_

EL AUTOR - ESTUDIANTE. Jaime Arango Ortiz 1129537430

FIRMA

**FORMULARIO DE LA DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO**

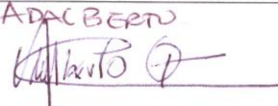
TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO:

ALUMBRADO PUBLICO AUTOSOSTENIBLE.

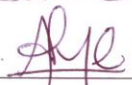
**AUTOR AUTORES**

Apellidos Completos	Nombres Completos
Mendoza peñaranda. Arango Ortiz. Díaz Vásquez.	Darío enrique Jaime Jefferson

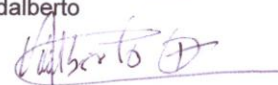
**DIRECTOR(ES)**

Apellidos Completos	Nombres Completos
OSPINO	ADALBERTO 

**JURADO(S)**

Apellidos Completos	Nombres Completos
SILVA ORTEGA Mercado Caruso	JORGE IAN JSACAO. Nohera Nubia. 

**ASESOR(ES) O CODIRECTOR**

Apellidos Completos	Nombres Completos
ospino	Adalberto 

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO ELECTRICISTA.

**FACULTAD:** DE INGENIERÍA.

**PROGRAMA:** PREGRADO   X  

**NOMBRE DEL PROGRAMA** INGENIERÍA ELÉCTRICA.

CIUDAD: Barranquilla AÑO DE PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO:  
2012

NÚMERO DE PÁGINAS 105

TIPO DE ILUSTRACIONES:

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Ilustraciones                | <input type="checkbox"/> Planos      |
| <input type="checkbox"/> Láminas                                 | <input type="checkbox"/> Mapas       |
| <input type="checkbox"/> Retratos                                | <input type="checkbox"/> Fotografías |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tablas, gráficos y diagramas |                                      |

MATERIAL ANEXO (Vídeo, audio, multimedia o producción electrónica):

Duración del audiovisual: \_\_\_\_\_ minutos.

Número de casetes de vídeo: \_\_\_\_\_ Formato: VHS \_\_\_\_\_ Beta Max \_\_\_\_\_  $\frac{3}{4}$  \_\_\_\_\_  
Beta Cam \_\_\_\_\_ Mini DV \_\_\_\_\_ DV Cam \_\_\_\_\_ DVC Pro \_\_\_\_\_ Vídeo 8 \_\_\_\_\_ Hi 8 \_\_\_\_\_

Otro. Cuál? \_\_\_\_\_

Sistema: Americano NTSC \_\_\_\_\_ Europeo PAL \_\_\_\_\_ SECAM \_\_\_\_\_

Número de casetes de audio: \_\_\_\_\_

Número de archivos dentro del DVD (En caso de incluirse un DVD diferente al  
trabajo de grado):  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención  
especial):  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



**CARTA DE ENTREGA Y AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS Y TRABAJOS DE GRADO**

Barranquilla, Fecha 30 de agosto de 2012

**Tesis Trabajo de Grado**

Yo Darío Mendoza peñaranda, Jaime Arango Ortiz, Jefferson Díaz Vásquez, identificado con C.C. No. 1129537430, 1049894887, actuando en nombre propio y como autor de la tesis y/o

Trabajo de grado titulado Alumbrado Publico Autosostenible Presentado y Aprobado en el año 2012 como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista; hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (DVD) y autorizo a la UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento.

Y autorizo a la Unidad de información, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad de la Costa, CUC, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página Web de la Facultad, de la Unidad de información, en el repositorio institucional y en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la institución y Permita la consulta, la reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato DVD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR - ESTUDIANTES, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad ante la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL ESTUDIANTE - AUTOR, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos, la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Barranquilla D.E.I.P., a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de Dos Mil \_\_\_\_\_ 200 \_\_\_\_\_

**EL AUTOR - ESTUDIANTE.** Jaime Arango Ortiz  
**FIRMA**

### CALCULO DE CAPACIDAD DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

CONSUMO ENERGETICO ESTIMADO				
Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas (h)	Energía (W·h)
Luminaria Led	1	50	12	600
Total (W·h)				600

Consumo Energético Teórico (Wh)	600
Consumo Energético Real (E)	759,49
R (Parámetro de rendimiento global)	0,79

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * \left(1 - \frac{K_a * N}{P_d}\right)$$

		Valor seleccionado	DC
Kb	Coefficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador (0.05 para NO descargas intensas, 0.1 para descargas profundas)	0,1	
Kc	Coefficiente de pérdidas en el convertidor (0.05 para convertidores senoidales puros en régimen óptimo, 0.1 en condiciones lejos del óptimo)	0,05	0
Kv	Coefficiente de pérdidas varias (rendimiento de red y efecto Joule), 0.05-0.15	0,1	
Ka	Coefficiente de autodescarga diario (0.005 para baterías estacionarias de Pb-ácido, 0.002 para baterías de baja autodescarga)	0,005	
N	Número de días de autonomía	1	
Pd	Profundidad de descarga diaria de la batería	0,75	

Rendimiento de la instalación fotovoltaica	0,79
Consumo energético real (W·h)	759,49
Capacidad Banco de Baterías (A·h)	84,39

Horas de Pico Solar (HPS)	5,5
---------------------------	-----

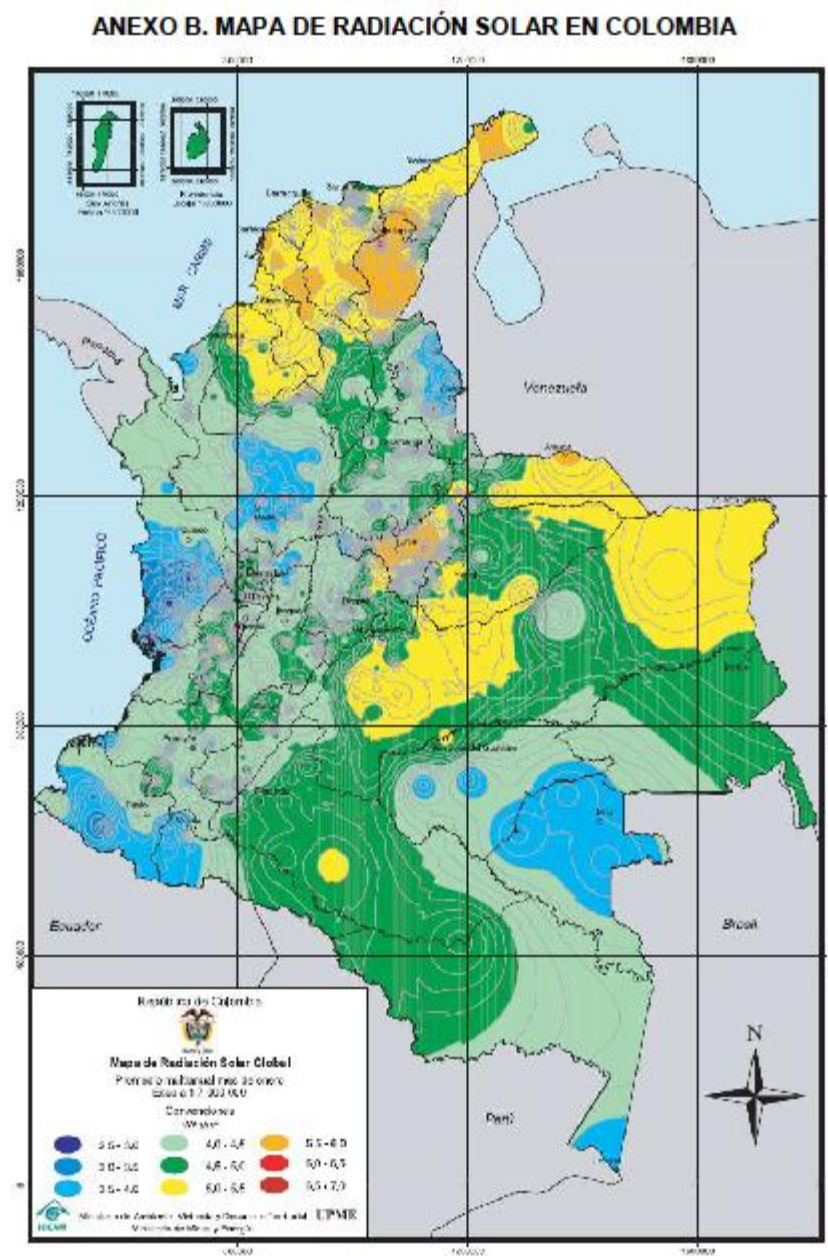
$$NP = \frac{E}{0,9 \cdot W_p \cdot HPS}$$

Potencia pico de cada panel (W)	120
Número de paneles (NP)	1,28

### RESUMEN

Para una carga estimada de 360 W·h/día, considerando que se cuenta con 5 horas de radiación solar de 5,5 kWh/m<sup>2</sup>-día, y asumiendo un (1) día de autonomía, es necesario un panel de 120 W y una batería cale selladas de 135 A·h

## ANEXO B. MAPA DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA



Fuente: Atlas de radiación solar, UPME



## ANEXO C. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PANEL



### KC120-1

#### HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE

TYPICAL OUTPUT: 112Wp

MODEL KC120-1



#### HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities have produced a highly efficient multicrystal photovoltaic modules.

The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 18%.

These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a EVA pattern with PET back sheet to provide maximum protection from the adverse environmental conditions.

The entire laminate is installed over anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation.

#### APPLICATIONS

- Microwave/P radio receiver stations
- Electrification of villages in remote areas
- Medical facilities in rural areas
- Power source for summer vacation homes
- Emergency communication systems
- Water quality and environmental data monitoring systems
- Navigation, light towers, and weather buoys
- Pumping systems for irrigation, rural water supplies and livestock watering
- Station electrification light
- Cathodic protection systems
- Accessorial systems
- Recreational facilities
- Industrial systems
- Electrical charging systems

#### SPECIFICATIONS

##### ■ Electrical Specifications

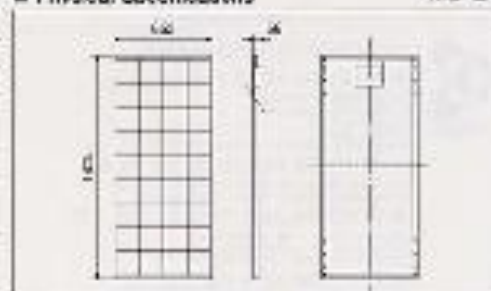
MODEL	KC120-1
Maximum Power	112Wp
Maximum Power Voltage	14.0Vdc
Maximum Power Current	7.97Adc
Open Circuit Voltage	20.0Vdc
Short Circuit Current	7.45Adc
Length	142mm (5.61in.)
Width	252mm (9.92in.)
Depth	25mm (1.0in.)
Weight	11.8kg (26.0lb)

Notes: 1. For more detailed specifications, see the data sheet for this module at [www.kyocera-solar.com](http://www.kyocera-solar.com) and our sales literature (2007).

2. Power increases as light intensity rises; specifications are minimum values.

##### ■ Physical Specifications

(Unit: mm)



## ANEXO D. ESPECIFICACIONES DE LA BATERÍA

### GUÍA DE ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

TAMAÑO DEL GRUPO BCI	TIPO	CAPACIDAD * Minutos			CAPACIDAD * Amp. hora (Ah)			TIPO DE TERMINAL (vea abajo)	DIMENSIONES * Pulgadas (mm)			PESO lbs. (kg)
		Q25 Amps	Q56 Amps	Q75 Amps	5 Hr Rate	20 Hr Rate	100 Hr Rate		L	An	Al F	
BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO DE 6 VOLTIOS												
GC2	6V-GEL	394	-	-	154	189	-	5	10 1/4 (260)	7 1/8 (181)	10 7/8 (276)	68 (31)
BATERÍAS DE CICLO PROFUNDO DE 12 VOLTIOS												
24	24-GEL	147	-	-	66	77	-	5,6	10 7/8 (276)	6 3/4 (171)	9 5/16 (238)	52 (24)
27	27-GEL	179	-	-	76	91	-	5	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 1/4 (234)	63 (29)
31	31-GEL	200	-	-	85	102	-	5	12 15/16 (329)	6 3/4 (171)	9 5/8 (245)	69 (31)

TAMAÑO DEL GRUPO BCI	TIPO	CAPACIDAD <sup>A</sup> Minutos		POTENCIA DE ARRANQUE		CAPACIDAD <sup>B</sup> Amp. hora (Ah)			TIPO DE TERMINAL (vea abajo)	DIMENSIONES <sup>C</sup> Pulgadas (mm)			PESO lbs. (kg)
		25 Amps	75 Amps	CCA <sup>D</sup> 0°F	CA <sup>E</sup> 32°F	5 hs	20 hs	100 hs		L	An	Al <sup>F</sup>	
BATERÍAS MARINAS/RV DE CICLO PROFUNDO DE 12 VOLTIOS													
24	8C8150	150	36	530	650	80	100	-	8	11 1/4 (286)	6 3/4 (171)	9 3/4 (246)	90 (23)
27	8C8200	200	52	620	760	95	115	-	8	12 3/4 (324)	6 3/4 (171)	9 3/4 (246)	90 (27)
30H	8C8225	225	57	665	820	105	130	-	8	13 15/16 (355)	6 3/4 (171)	9 7/8 (251)	96 (30)
BATERÍAS AGM DE DOBLE PROPÓSITO DE 6 VOLTIOS													
GC2	6V-AGM	385	-	1100	1400	154	200	-	6	10 1/4 (260)	7 1/8 (181)	10 3/4 (274)	65 (29)
BATERÍAS AGM DE DOBLE PROPÓSITO DE 12 VOLTIOS													
24	24-AGM	130	-	440	620	81	80	-	6	10 1/4 (260)	6 5/8 (168)	9 1/2 (241)	52 (24)
27	27-AGM	175	-	500	760	76	100	-	6	12 1/16 (300)	6 5/8 (168)	9 7/16 (239)	67 (30)
31	31-AGM	190	-	720	950	83	110	-	6	12 15/16 (329)	6 13/16 (173)	9 5/16 (237)	74 (34)
4D	4D-AGM	325	-	1110	1420	131	165	-	6	20 7/8 (530)	8 1/4 (209)	9 5/8 (244)	125 (57)
8D	8D-AGM	400	-	1450	1850	179	230	-	6	20 1/2 (521)	10 9/16 (269)	9 3/16 (233)	167 (76)

- A. La cantidad de minutos que una batería produce durante una descarga a corriente continua a 90 °F (27 °C) y mantiene.
- B. La cantidad de amperios hora (Ah) que una batería produce durante una descarga a corriente continua a 90 °F (27 °C) por 20 ó 100 horas y a 86 °F (30 °C) por 5 horas y mantiene un voltaje por arriba de 1.75 v/celda. Basado en la capacidad máxima de la batería.
- C. Las dimensiones se basan en el tamaño máximo y pueden variar según el tipo de agarradera o terminal.
- D. C.C.A. (Corriente de Arranque en frío): Corriente de descarga medida en amperios que una batería nueva y completamente cargada puede mantener durante 30 segundos a 0 °F con un voltaje por arriba de 1.2 v/celda.
- E. C.A. (Corriente de Arranque): Corriente de descarga medida en amperios que una batería nueva y completamente cargada puede mantener durante 30 segundos a 32°F con un voltaje por arriba de 1.2 v/celda. Esto se refiere a veces como Corriente de Arranque Marina ó M.C.A. a 32 °F.
- F. Las dimensiones se toman desde la parte más baja de la batería a su punto más alto. Las dimensiones pueden variar según el tipo de terminal.

CONFIGURACIONES DE LOS BORNES																		
1	LPT	2	HPT	3	WNT	4	AP	5	UT	6	DT	7	ST	8	DWNT	9	LT	10
																		
Terminal de Perfil Bajo	Terminal de Perfil Alto	Terminal de Rosca Mariposa	Terminal de Poste Automotivo	Terminal Universal	Terminal de Poste Automotivo y Tornillo	Terminal de Tornillo	Terminal de Rosca Mariposa Doble	Terminal L	Cable y enchufe									

Caja "Polyon™"



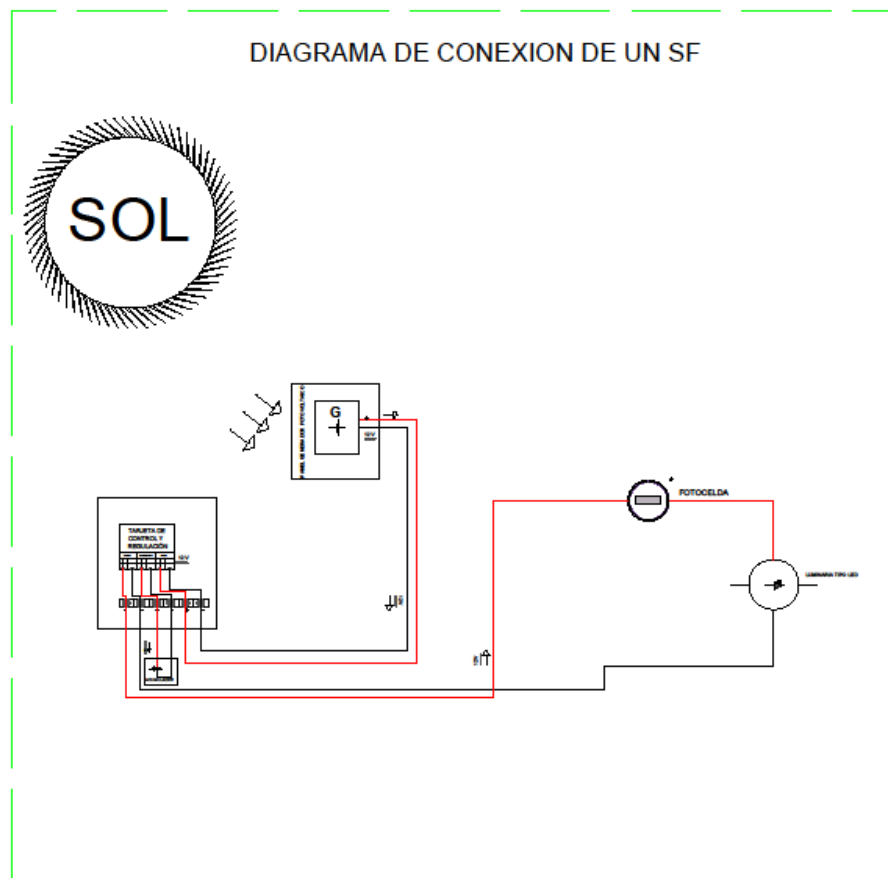
Para el Distribuidor Maestro de Trojan cerca de usted, llame al 800-423-6569 ó 562-236-3000 ó visítenos en [www.trojanbattery.com](http://www.trojanbattery.com)

## **ANEXO E. ESPECIFICACIONES DE LA LÁMPARA TIPO**

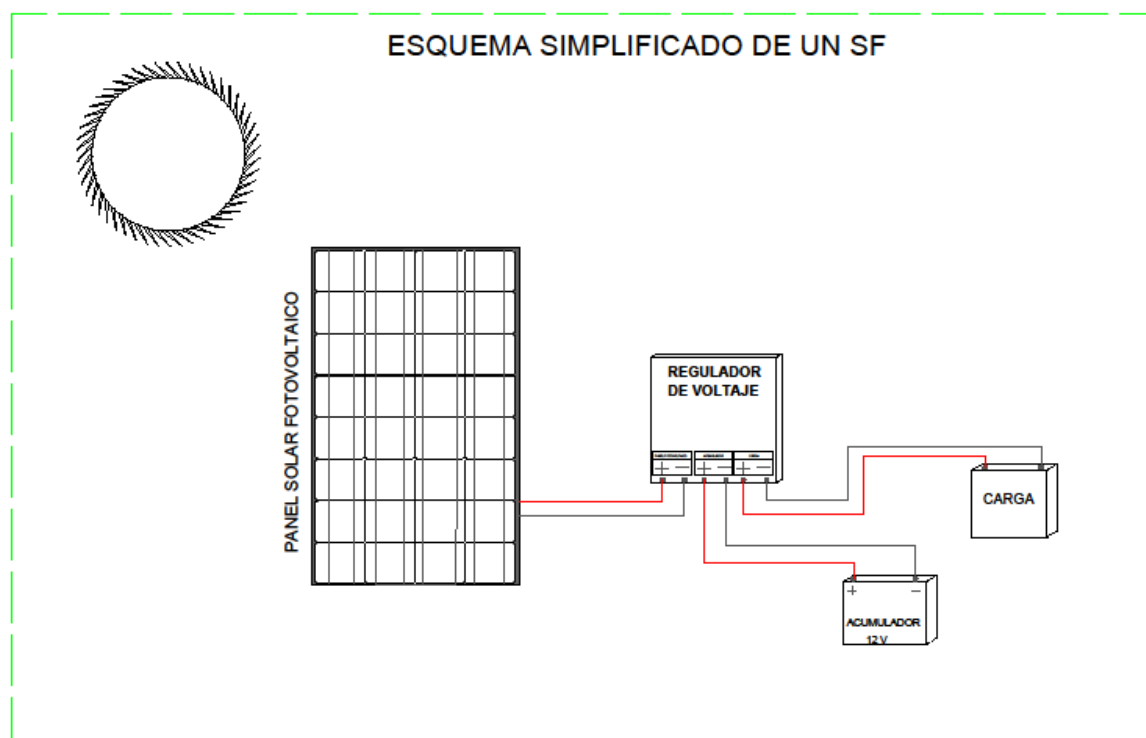
### **Características Principales:**

- Fuente LED: Un solo LED de alta potencia (50W).
- Voltaje de entrada: DC(12V 24V)
- Factor de Poder (PF): >0.9
- Eficiencia: 110lm/w
- Eficiencia de la fuente de poder: >90%
- Angulo efectivo de luz: 130 Grados
- Índice de Reproducción del Color: >80
- Temperatura de Color: 2700K~7000K
- Peso Neto (kg): 13.56 KG
- Reflector de placas de membrana metálica al vacío.
- Cubierta en vidrio endurecido de alta intensidad.
- Vida útil: 50,000 horas
- Grado de resistencia al agua: IP65
- Sin demora al encendido

## ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SF



## ANEXO G. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UN SF





2012

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA (CUC)**

JAIME ARANGO, DARIO MENDOZA, JEFERSON DIAZ

**[MANUAL DE MANTENIMIENTO]**

Este manual facilita información básica a aquellas personas interesadas en usar el prototipo de iluminación pública fotovoltaica usando tecnología Led. Además, este prototipo brinda una fuente de energía confiable y respetuosa con el medio ambiente.

## CONTENIDO

INTRODUCCION .....	1
¿Cómo usar este manual? .....	2
¿Qué es un sistema fotovoltaico? .....	3
Como funciona un sistema fotovoltaico: descripción general. ....	3
Ventajas de utilizar un Sistema Fotovoltaico. ....	4
Componentes de un sistema fotovoltaico común .....	4
PANELES FOTOVOLTAICOS .....	5
REGULADOR DE CARGA .....	5
BATERIA SOLAR .....	5
MANTENIMIENTO DE UNA LAMPARA LED TIPO EXTERIOR EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	6
Operaciones de mantenimiento a los componentes del sistema fotovoltaico. ....	6
MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS .....	7
MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA BATERIA SOLAR .....	7
MANTENIMIENTO AL SISTEMA DEL MICROCONTROLADOR Y REGULADOR ..	8
MANTENIMIENTO A LA LAMPARA TIPO LED .....	11
Recomendaciones y precauciones generales para el mantenimiento del sistema fotovoltaico. ....	12
INFORMACION TECNICA DE LOS COMPONENTES DE LA LAMPARA LED TIPO EXTERIOR CON SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	13
PANEL FOTOVOLTAICO.....	13
BATERIA SOLAR.....	14
LAMPARA LED TIPO EXTERIOR .....	18

## INTRODUCCION

La energía proveniente del sol es infinita, limpia, e inmediatamente aprovechable, es un recurso que se halla en todas partes. Un sistema fotovoltaico, captura los rayos del sol mediante celdas fotovoltaicas y por medio de unos elementos semiconductores la convierten en electricidad útil al alcance de los usuarios. Cada día las personas son más dependientes de los dispositivos electrónicos y es un hecho que estos se están convirtiendo en una parte importante de nuestras vidas. Sistemas fotovoltaicos usando luces Led para alumbrado público nos conlleva a tener grandes ventajas ya que se consume menos energía, la vida útil de estos dispositivos es mucho mayor frente a las convencionales y los costos de mantenimiento son mínimos.

### ¿Cómo usar este manual?

Este manual provee información esencial para aquellas personas que estén considerando usar el prototipo de iluminación con tecnología Led para alumbrado público, el cual lo beneficiara a usted con una fuente de energía eléctrica luminosa y un consumo energético muy bajo.

Por este motivo la tecnología fotovoltaica obtendrá un rol fundamental en el suministro energético de nuestro futuro.

Este manual:

- Dará una explicación simple de cómo funcionan los sistemas fotovoltaicos y sus diferentes ventajas.
- Describirá los componentes que conforma los sistemas fotovoltaicos.
- Ofrecerá información técnica de los equipos.
- Explicará de manera simple de cómo utilizar el prototipo, además de exponer sus diferentes usos más comunes.
- Indicará las instrucciones de mantenimiento a los componentes de los sistemas fotovoltaicos.
- Exhibirá los posibles riesgos que pueda traer el mal uso de los sistemas fotovoltaicos.
- Presentará advertencias, precauciones y recomendaciones generales de todos los sistemas fotovoltaicos.

## **¿Qué es un sistema fotovoltaico?**

Es un conjunto de componentes electrónicos que están diseñados para cumplir con las siguientes funciones:

- Transformar fiable y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Acumular apropiadamente la energía eléctrica generada por los paneles.
- Suministrar debidamente la energía generada y almacenada.
- Implementar eficientemente la energía producida y almacenada.

Los equipos encargados de realizar estas funciones son: El panel solar, las baterías, el regulador de carga (circuito PIC) y por último la carga de aplicación.

## **Como funciona un sistema fotovoltaico: descripción general.**

Los sistemas fotovoltaicos transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de lo que se conoce como células o celdas solares. Las celdas solares están fabricadas de material semiconductor comúnmente de silicio, compuesto en dos capas: P y N. Cuando los rayos del sol inciden en la celda fotovoltaica, la banda de separación entre P y N se comporta como un diodo.

La incidencia de los fotones de energía en la celda, excitan los electrones a que traspasen de la capa P a la capa N. Una cantidad de electrones se concentran en el lado N provocando una escasez en el lado P. La diferencia entre el número de electrones que existe entre un lado y otro es la diferencia de tensión o voltaje, que se utiliza como una fuente de energía. Mientras los rayos del sol sigan incidiendo en el panel, la diferencia de voltaje se conserva. La cantidad de energía eléctrica que genera un sistema fotovoltaico depende fundamentalmente de dos aspectos: El grado de radiación solar que incide y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos para convertir esa radiación solar en energía eléctrica.

El proceso sigue cuando la energía solar ya transformada en energía eléctrica por los paneles solares, pasa a través de un regulador o controlador de carga que tiene como fin evitar las sobrecargas que pueden generar los paneles o las baterías. Esta energía generada necesita ser almacenada apropiadamente en baterías que sirven a su vez de respaldo al sistema en los días que se necesite autonomía.

Luego esta energía acumulada en la batería se distribuye adecuadamente en las cargas conectadas al sistema, y finalmente después del proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica por medio de los diferentes

componentes fotovoltaicos la energía llega a su destino final, las cargas conectadas al sistema fotovoltaico.

### **Ventajas de utilizar un Sistema Fotovoltaico.**

Independientemente de la utilidad que tenga la lámpara tipo LED para sistemas fotovoltaicos, esta posee varias ventajas ambientales, sociales y económicas que hacen de esta tecnología el camino energético a seguir en un futuro.

- El sol es una fuente de energía limpia y no contaminante que no emite CO<sub>2</sub>, no produce residuos y/o posibles alteraciones en la atmósfera que conlleven a cambios climáticos u otros fenómenos.
- La energía solar es un recurso que está disponible en todo el mundo y es gratis e inagotable, que presume una inversión recuperable a corto plazo. Además, los costos de operación y mantenimiento son mínimos.
- Se puede utilizar en cualquier lugar en el cual lleguen los rayos del sol.
- Se puede emplear en sitios donde el tendido eléctrico no llegue.
- Mantienen una vida útil superior a los 20 años.

### **Componentes de un sistema fotovoltaico común**

Los componentes principales de un SF son: Paneles solares, regulador de carga y batería solar. A continuación se hará una descripción corta de cada componente con el fin de conocer su funcionamiento y características típicas.

## **PANELES FOTOVOLTAICOS**

Los paneles fotovoltaicos son el elemento fundamental en el proceso de transformación de energía solar en energía eléctrica. Los paneles a su vez están constituidos por pequeños grupos de celdas solares acopladas entre ellas y selladas con un recubrimiento de vidrio y una capa impermeable.

Los paneles normalmente son rectangulares y el material con que se fabrican comúnmente es silicio. La eficiencia de los paneles depende del material con que se fabriquen como se indica a continuación.

Los paneles fotovoltaicos pueden tener vidas útiles hasta de 25 años dependiendo de los fabricantes, no poseen un mantenimiento tedioso porque solamente se limpia el vidrio que los protege y además se pueden conectar entre ellos para conformar una sola unidad.

## **REGULADOR DE CARGA**

El regulador de carga es el dispositivo más confiable del sistema y se conecta entre los paneles y la batería. Tiene como objetivo impedir el flujo de carga excesivo (sobrecargas) generado por los paneles hacia la batería cuando esta se encuentra totalmente cargada.

Igualmente el regulador evita que la misma batería en algún momento le proporcione una sobrecarga a los paneles. Todas estas sobrecargas deterioran los dispositivos permitiendo que su vida útil se acorte. La capacidad del regulador se determina por la corriente de corto circuito que se puede generar por parte de los paneles.

## **BATERIA SOLAR**

El sol es una fuente de energía de la cual solo se tiene acceso en algunas horas del día, además la radiación solar se hace imprevisible por la variabilidad del clima (lluvia, nubosidad). Por tal motivo se requieren de dispositivos de almacenamiento de energía para estos periodos donde no haya radiación solar. La batería es un componente muy esencial que permite darle autonomía, fiabilidad y confiabilidad al sistema fotovoltaico.

La batería cumple dos misiones fundamentales dentro del sistema fotovoltaico: la primera consiste en proporcionar energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos tal y como es demandada por ellos, independientemente de la generación eléctrica de los paneles en ese instante. Entonces la batería permite entregar una corriente mayor que la que pueden generar los paneles en los instantes que los equipos lo demanden.

La segunda misión de la batería consiste en almacenar la energía que se produce en el día y que no se logra consumir para después ser emplearla en las horas de la noche o en aquellas donde los periodos de mal tiempo son extensos. Generalmente las baterías para los sistema fotovoltaico son de ciclo profundo, esto significa que pueden descargar una cantidad significativa de energía lentamente y también cuando se están cargando lo hacen lentamente. Esto con el fin de dar más tiempo de utilidad a los aparatos conectados al sistema. La capacidad de la batería se mide en amperio-hora (Ah).

### **MANTENIMIENTO DE UNA LAMPARA LED TIPO EXTERIOR EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Este sistema hay que hacerle énfasis en la parte eléctrica ya que este tipo de instalación al no hacerle un adecuado mantenimiento o no se lleva a cabo alguno de estos procedimientos de control, la instalación fácilmente tendrá problemas en un plazo más o menos corto. Dichos problemas conllevaran a una reducción del rendimiento de la instalación y la omisión de algunos de estos mantenimientos podrían causar el deterioro de los componentes acortando su vida útil.

Por tal motivo el objetivo del mantenimiento es extender la vida útil de todas las partes del sistema, ofreciendo además, seguridad, confiabilidad al funcionamiento y productividad de la instalación fotovoltaica.

#### **Operaciones de mantenimiento a los componentes del sistema fotovoltaico.**

Los procedimientos para un buen mantenimiento del prototipo lámpara LED tipo exterior se hacen individualmente a cada componente que conforma esta instalación:

## **MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS**

El mantenimiento y control básico de los paneles fotovoltaicos comprende las acciones siguientes:

- Realizar un reconocimiento visual de los paneles para verificar que no haya roturas del vidrio, penetración de humedad en el interior del panel, fallos de conexión en el caso de que se produzcan fallas.
- Limpieza periódica del revestimiento frontal de vidrio del panel. Se recomienda hacer limpieza cada tres meses en temporadas de sequía, teniendo en cuenta el nivel de contaminación y suciedad que se presenta en la costa atlántica. La limpieza debe realizarse con agua y un paño suave. Si existen manchas de excremento de aves puede utilizar detergente.
- Compruebe que no existan terminales flojos ni rotos, además que las conexiones estén bien ajustadas y que los conductores se encuentren en óptimas condiciones. En caso de descubrir algún inconveniente o avería, contacte al personal especializado.
- Verifique que en la estructura de sujeción estén bien apretados los paneles y que todos los tornillos estén en adecuadas condiciones. Además comprobar que en las partes que no sean de aluminio, ni de acero inoxidable o galvanizado, no se presente deterioro por oxidación, en el caso hallarlo dar tratamiento con pintura antioxidante.

## **MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA BATERIA SOLAR**

La batería es el componente que representa el mayor peligro en el sistema fotovoltaico para cualquier persona que pretenda maniobrarla, a pesar de ser un mantenimiento sencillo, tanto por sus características eléctricas como por las químicas. Asegúrese de leer cuidadosamente las indicaciones de maniobra ya que el uso indebido de estas baterías puede causar lesiones personales.

Si no entiende totalmente las indicaciones del manual de usuario de nuestro prototipo solar o las notas de precaución, favor dirigir sus preguntas al personal encargado del soporte técnico.

A continuación, se especifican las pautas de seguridad para maniobra de las baterías:

- Use siempre ropa, guantes y gafas de protección al trabajar con baterías.



- No fume cerca de las baterías.
- Mantenga chispas, llamas y objetos metálicos alejados de las baterías.
- Utilice una llave con agarradera aislante al conectar baterías.
- El electrolito es una solución de ácido y agua, evite el contacto con la piel.
- Si el ácido entra en contacto con la piel ó los ojos, enjuáguelos con abundante agua inmediatamente.
- Revise que todas las conexiones de los cables a las terminales estén debidamente apretadas; las conexiones que están demasiado apretadas ó demasiado flojas pueden quebrarse, fundirse o quemarse.
- Para evitar cortocircuitos, no ponga objetos sobre la batería.
- Cargue las baterías en un área bien ventilada.
- Nunca agregue ácido a la batería.
- Siempre lea este manual antes de manipular la batería.

### **MANTENIMIENTO AL SISTEMA DEL MICROCONTROLADOR Y REGULADOR**

La tarjeta controladora basada en el microcontrolador PIC 16F819 está diseñada para el control de lámparas alimentadas por energía solar almacenada en baterías. Así que provee el control necesario para la carga de la batería y el encendido de la lámpara cuando es de noche y su correspondiente apagado durante las horas del día, gracias a la revisión de las condiciones de luz por medio de una foto celda y el manejo del tiempo correcto. El microcontrolador puede medir el voltaje de la batería y determinar su estado.

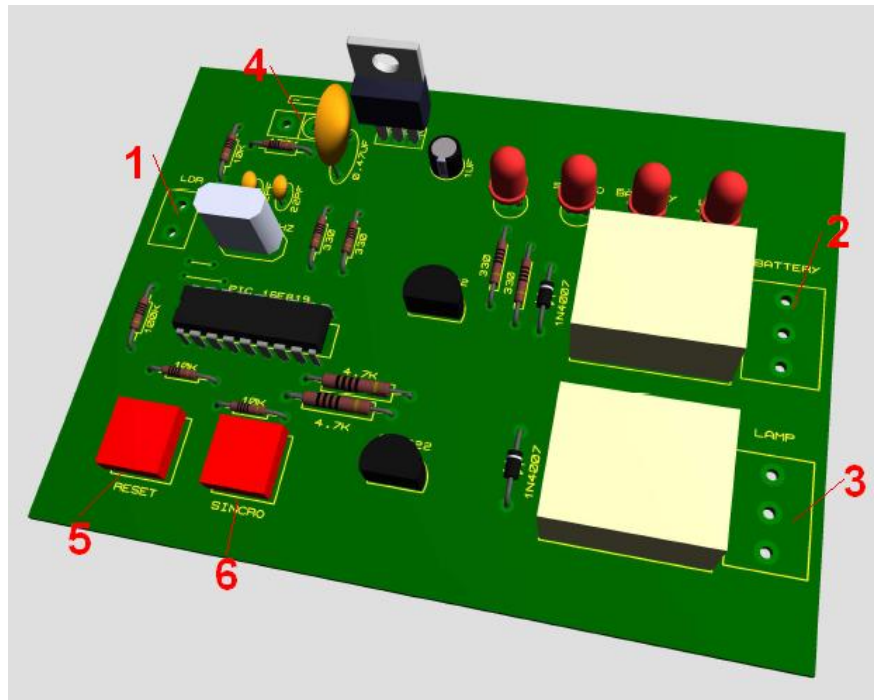


Fig.1 Microcontrolador y regulador.

Donde:

**1. Punto de instalación de LDR (Foto celda).**

En este punto se conectan directamente los terminales de la foto celda que tiene como función revisar las condiciones de luz necesarias. Este también es un punto de medición del voltaje en la foto celda con el cual se puede determinar el umbral de luz y así calibrar el sistema.

**2. Punto de conexión control carga de batería.**

En este punto se encuentran los contactos del relé que controla la carga de la batería. Su función es interrumpir o permitir el flujo de corriente que proviene del regulador de 10 A cuando el estado de la batería lo requiera.

**3. Punto de conexión para control de encendido/apagado de la lámpara.**

En este punto se encuentran los contactos del relé que controla el encendido/apagado de la lámpara. Su función es interrumpir o permitir el flujo de corriente que proviene de la batería cuando las condiciones de luz sean las ideales.

**4. Alimentación de la tarjeta controladora 12V proveniente de la batería.**

Alimentación de la tarjeta. La tarjeta es alimentada con 12V, pero todos los componentes emplean 5V para su funcionamiento gracias al regulador LM7805.

### 5. Botón de reset. Restablece el control a un punto inicial.

En todos los circuitos con características digitales y micro controlados es necesario un reset para restablecer. Si en algún momento el sistema funciona mal se debe hacer un reset. El mal funcionamiento puede ser producto de una fuerte descarga estática o interferencia que puede hacer perder al micro controlador el rumbo del programa. También sirve para poner la tarjeta en el estado inicial para ser sincronizada.

### 6. Botón de sincronización.

Cuando se enciende la tarjeta por primera vez o después de un reset es necesario poner el sistema en modo de sincronización a la espera del primer cambio de luz (día a noche) para iniciar el temporizador interno en el preciso momento del encendido de la lámpara. Con la sincronización se garantiza que el temporizador que maneja intervalos de 12 horas coincida con el amanecer o anocheecer.

De la tarjeta podemos observar una serie de leds que al momento de la inspección se debe tener en cuenta lo siguiente:



Fig.2 Leds de vigilancia de la tarjeta.

**LOW (color rojo):** Indica que la batería se encuentra agotada.

**SINCRO (verde):** Indica el estado de la sincronización. Encendido y fijo indica que el sistema se encendió por primera vez, pero no se ha dado una orden de sincronización. Intermitente indica que ya se dio la orden de sincronizar pero no ha habido un cambio de luz. Apagado indica que ya se produjo el cambio de luz y se sincronizó el temporizador.

**BATTERY (verde):** Indica que se encendió el relé de carga de batería y por tanto se está cargando la misma.

**LAMP (verde):** Indica que se encendió el relé de encendido de la lámpara y por tanto que la lámpara está encendida.

Adicionalmente, la persona encargada de realizar el mantenimiento preventivo debe ejecutar las siguientes acciones:

- ✓ Se tiene que inspeccionar que este sistema este ubicado en la posición correcta.
- ✓ El sitio donde estará ubicada tarjeta debe mantenerse limpio, libre del polvo y protegido contra la humedad.
- ✓ Chequear en la tarjeta si detecta ruidos anormales.
- ✓ La váquela no presente signos de aparente ruptura o corto.

### **MANTENIMIENTO A LA LAMPARA TIPO LED**

Para este tipo de lámparas hay que tener especial cuidado porque esta tecnología apenas se está implementando en nuestro país. Para que nuestra instalación de alumbrado público opere eficientemente dependerá del mantenimiento e inspección que se lleve a cabo periódicamente.

Hay que tener en cuenta que la instalación de la lámpara se llevara a cabo en la ciudad de barranquilla, Colombia. Barranquilla se encuentra ubicada al norte de Colombia y por ser ésta una ciudad costera es sinónimo de alta humedad y salinidad que de una u otra forma afectara a la lámpara si está no tiene un plan de mantenimiento establecido que en pocas palabras no prolongar periodos largos sin realizarle inspección o mantenimiento.

Un plan de mantenimiento preventivo para estas tipos de lámparas consiste en la revisión periódica de todos los elementos de la instalación, efectuando las tareas necesarias para evitar averías y/o fallas de las mismas.

Las actividades a realizar se dan a continuación:

- Inspección del estado del soporte (Corrosión y anclaje del sistema)
- Inspección de la luminaria de la lámpara. Se debe inspeccionar que todos los Leds enciendan y generen los lúmenes establecidos por la lámpara.
- Inspección y comprobación del sistema de programación. Constatar que cada 12 horas se realice las maniobras de encendido (ausencia de luz) y apagado (presencia de luz) de la lámpara. Sí no ejecuta dicha acción ponerse en contacto con el Ingeniero de área.

- Inspección de la fotocelda. Limpiar cada 3 meses el ojo de la fotocelda para evitar que la lámpara se encienda y desperdiciar energía acumulada por la batería.
- 

### **Recomendaciones y precauciones generales para el mantenimiento del sistema fotovoltaico.**

Si el sistema fotovoltaico no marcha apropiadamente y su solución no está en los alcances acordados en este manual, contáctese con el ingeniero especializado. No trate de arreglar los problemas usted mismo ya que esto necesita de la mano de un experto para evitar accidentes y averías al sistema.

- Verificar las conexiones de los diferentes puntos (panel-control-batería-lámpara) para que se mantenga el flujo de carga.
- Por ningún motivo se debe conectar este sistema a una fuente de energía alterna (110VAC/220VAC) ya que este sistema solo trabaja en DC.
- Verificar periódicamente los LED del circuito de control que corresponde a la carga de la batería y al momento de observar que alguno de ellos no enciende, contáctese con el ingeniero especializado.
- Sí por algún percance de la lámpara instalada, se desea cambiar por otra, tenga en cuenta que la nueva no puede exceder los 50Watts de potencia (12-24VDC) ya que puede provocar un mal funcionamiento al ya preestablecido.

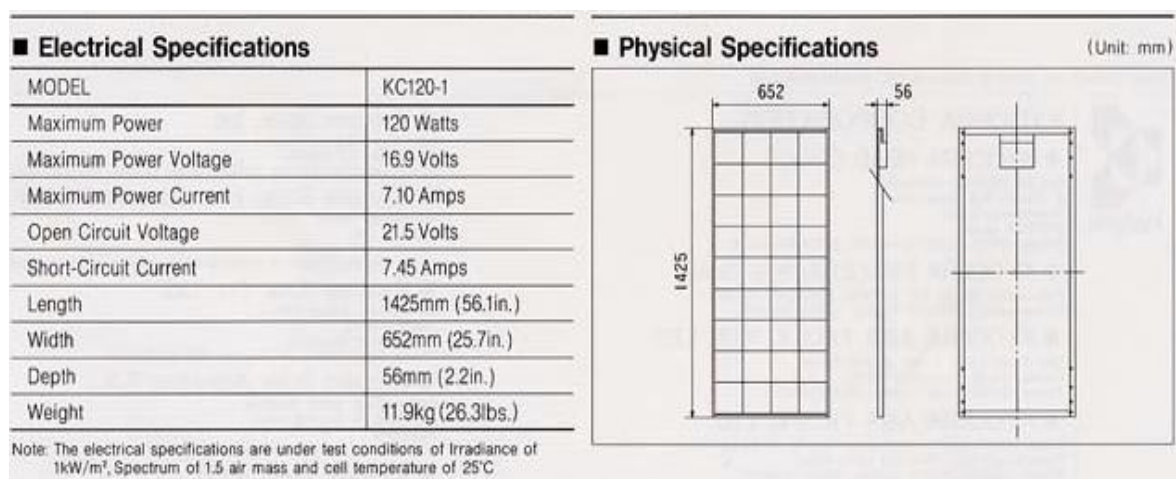
## INFORMACION TECNICA DE LOS COMPONENTES DE LA LAMPARA LED TIPO EXTERIOR CON SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los componentes utilizados para el montaje de la lámpara tipo led para alumbrado público con sistema fotovoltaico son: panel solar, batería, circuito control (microcontrolador y reguladores)

### PANEL FOTOVOLTAICO

Estos tipos de panales de policristalino manejan niveles de tensión de 12V alcanzando un nivel de potencia hasta de 120W ya que aprovechan eficientemente la radiación solar. El marco que protege los paneles es resistente a golpes y efectos degradantes a la intemperie.

Especificaciones eléctricas y físicas:



**Fig.3** Dimensiones del panel (mm)

Otras especificaciones complementarias:

- Front Glass Thickness (mm): 3.2 mm
- Temperature Coefficients of Isc (%) °C: +0.04
- Temperature Coefficients of Voc (%) °C: -0.38
- Temperature Coefficients of Pm (%) °C: -0.47
- Temperature Coefficients of Im (%) °C: +0.04
- Temperature Coefficients of Vm (%) °C: -0.38
- Temperature Range: -40°C to +85°C
- Tolerance Wattage (e.g. +/- 3%): +/- 3%
- Surface Maximum Load Capacity: 2400Pa
- Allowable Hail Load: 23m/s, 7.53g

- Weight Per Panel (lbs): 25.57 lbs
- Bypass Diode Rating (A): 10
- Cell Efficiency (%): 13.69%
- Module Efficiency (%): 12.09%
- Backing (brandType): TPT
- Warranty: 90% of 10 years, 80% of 25 years
- Standard Test Conditions: AM1.5 1000W/m<sup>2</sup> 25 +/-2°C
- FF (%): 70-76%

## BATERIA SOLAR

Las baterías solares trojan, de ciclo profundo, están diseñadas para soportar las más diversas condiciones de trabajo a lo que normalmente es sometido un acumulador solar, la batería trojan permite ser descargada hasta un 80% de su capacidad sin por ello disminuir el rendimiento y ciclos de vida, está diseñada para trabajar con baja carga, ideal para este tipo de instalaciones.

Especificaciones técnicas:

Tabla 1.Especificación batería Trojan SCS225

Trojan SCS225 12V Deep Cycle Battery													
Type	Capacity <sup>A</sup> Minutes		Cranking Performance		Capacity <sup>B</sup> Amp-Hours (AH)			Energy (KW)	Voltage	Dimensions <sup>C</sup> Inches(mm)			Weight lbs (kgs)
	@25 Amps	@75 Amps	CCAD @00F	CAE @320F	5-Hr Rate	20-Hr Rate	100-Hr Rate	100-Hr Rate		Length	Width	Height	
SCS225	225	57	665	820	101	130	144	1.73	12Volt	13-15/16 (355)	6-3/4 (171)	9-7/8 (251)	66 (30)

Donde;

R: El número de minutos que una batería produce durante una descarga en un centro comercial continua a 80 ° F (27 ° C) y mantener una tensión por encima de 1,75 V / celda. Las capacidades se basan en el rendimiento máximo.

B: La cantidad de amperios-hora (Ah) que una batería produce durante una descarga a una velocidad constante de 77 ° F (25 ° C) para la línea de firma, de ciclo profundo AGM y de gel de ciclo profundo, 80 ° F (27 ° C) para las líneas de

primera calidad e Industrial y mantener un voltaje por encima de 1,75 V / celda. Las capacidades se basan en el rendimiento máximo.

C: Las dimensiones se basan en el tamaño máximo. Las dimensiones pueden variar dependiendo del tipo de asa o terminal.

D: C.C.A. (Amperios de arranque en frío) - la carga en amperios en una batería nueva y completamente cargada puede mantener durante 30 segundos a 32°F a una tensión por encima de 1,2 V / celda.

E: C.A. (Amperios de arranque) - la carga en amperios que una batería nueva y completamente cargada puede mantener durante 30 segundos a 32°F a una tensión por encima de 1,2 V / celda. Esto se denomina a veces amperios @ 32°F o MCA @ 32°F.

Descripción rápida:

Trojan SCS225 12V  
Capacidad: 130A @ 20Hr  
Longitud: 355mm  
Ancho: 171mm  
Altura: 251mm  
Peso: 30Kgs



Fig.4 Batería Troyan 135HA

## CIRCUITO CONTROL (MICROCONTROLADOR Y REGULADOR)

Para el actual proyecto se implemento un circuito que consta principalmente de dos elementos: El microcontrolador que es como la CPU de un ordenador con una memoria interna capaz de almacenar infinidad de acciones para la implementación de nuevas tecnologías en el ámbito electrónico; y los reguladores que se encuentran conjunto al circuito que tendrán como objetivo optimizar los niveles carga permitidos o ya establecidos dentro de las funciones que realizará el microcontrolador.



## Características PIC16F818:

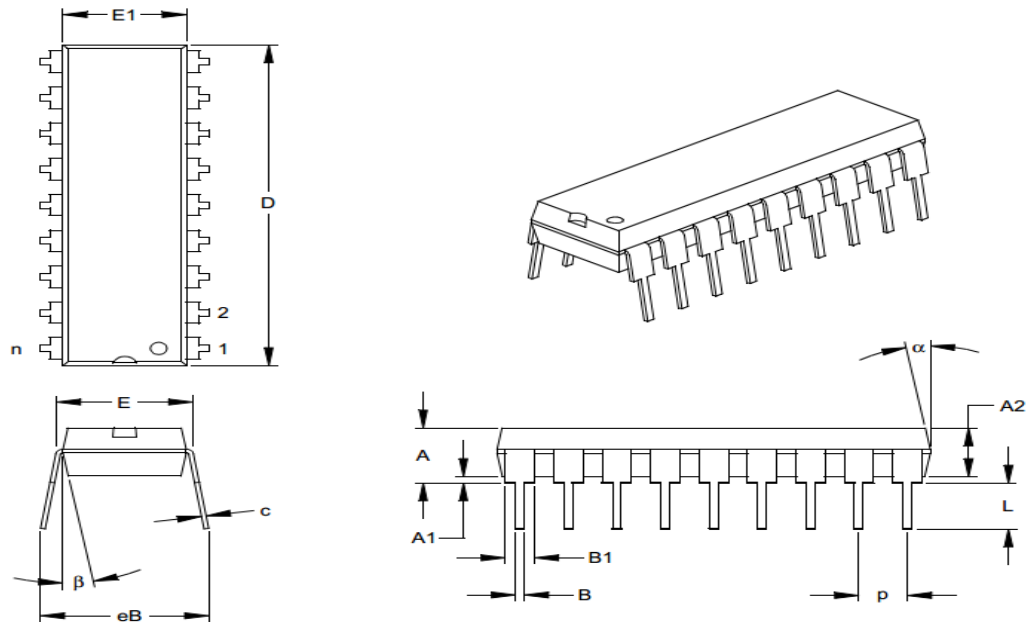
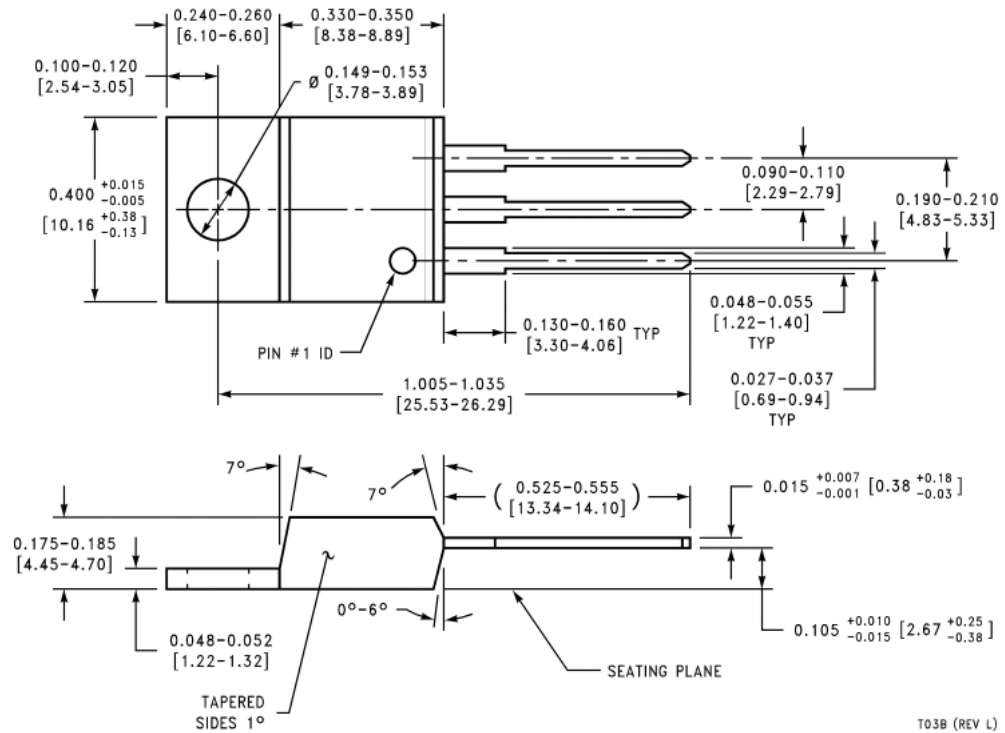


Tabla 2. Especificación y/o dimensiones del PIC16F818

Units		INCHES*			MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX
Number of Pins	n	18			18		
Pitch	p		.100			2.54	
Top to Seating Plane	A	.140	.155	.170	3.56	3.94	4.32
Molded Package Thickness	A2	.115	.130	.145	2.92	3.30	3.68
Base to Seating Plane	A1	.015			0.38		
Shoulder to Shoulder Width	E	.300	.313	.325	7.62	7.94	8.26
Molded Package Width	E1	.240	.250	.260	6.10	6.35	6.60
Overall Length	D	.890	.898	.905	22.61	22.80	22.99
Tip to Seating Plane	L	.125	.130	.135	3.18	3.30	3.43
Lead Thickness	c	.008	.012	.015	0.20	0.29	0.38
Upper Lead Width	B1	.045	.058	.070	1.14	1.46	1.78
Lower Lead Width	B	.014	.018	.022	0.36	0.46	0.56
Overall Row Spacing §	eB	.310	.370	.430	7.87	9.40	10.92
Mold Draft Angle Top	α	5	10	15	5	10	15
Mold Draft Angle Bottom	β	5	10	15	5	10	15

Regulador LM338:

Fig.5 Dimensionamiento regulador LM338



## LAMPARA LED TIPO EXTERIOR

Esta lámpara de alumbrado publica en LED de cabeza cobra ilumina como una lámpara tradicional de alumbrado público. Utiliza un LED de alto poder (30W~100W) como fuente de iluminación y puede suplir sus necesidades especiales de iluminación.

Comparado con las luces de alumbrado público en sodio, puede ahorrar entre un 50% - 75% en energía eléctrica.

Fig.6 Lámpara Led para alumbrado público



### Características Principales:

- Fuente LED: Un solo LED de alta potencia (50W).
- Voltaje de entrada: DC(12V 24V)
- Factor de Poder (PF): >0.9
- Eficiencia: 110lm/w
- Eficiencia de la fuente de poder: >90%
- Angulo efectivo de luz: 130 Grados
- Índice de Reproducción del Color: >80
- Temperatura de Color: 2700K~7000K
- Peso Neto (kg): 13.56 KG
- Reflector de placas de membrana metálica al vacío.

- Cubierta en vidrio endurecido de alta intensidad.
- Vida útil: 50,000 horas
- Grado de resistencia al agua: IP65
- Sin demora al encendido
- Ahorra entre 50% - 70% en el costo de electricidad comparado con una lámpara desodio tradicional
- Amigable con el ambiente: No emite rayos UV, Infra Rojo, plomo o mercurio.